

**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**ELABORACIÓN DE UN BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DEL RÍO  
MACHANGARA.**

**TESIS DE GRADO PREVIA A  
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTOR:**

**ESTEBAN ADRIAN CARCHI GARCÍA**

**DIRECTOR:**

**ING. MSC. ALEX MANUEL AVILÉS AÑAZCO**

**CUENCA-ECUADOR  
2015**



## RESUMEN

En el presente trabajo se realiza un balance hídrico en la cuenca del río Machángara ubicada en la provincia de Azuay y Cañar, tiene una superficie de 325 km<sup>2</sup> y está compuesta por tres microcuencas: Río Chulco, Río Machángara Alto y Río Machángara Bajo.

Se evaluó 3 variables climatológicas que más influyen con la cantidad de agua, siendo así la precipitación, temperatura (media, máxima y mínima) y evapotranspiración. Conjuntamente se determinó la demanda de agua e identificación de los usos más relevantes del recurso hídrico.

La disponibilidad hídrica de la cuenca se obtuvo a partir del cruce de información entre la precipitación y evapotranspiración. Para el estudio de la precipitación se determinó las áreas efectivas de cada estación con el método de polígonos de Thiessen, y para el cálculo de la evapotranspiración se empleó el método de Thornthwaite, el mismo que está en función de la temperatura media.

Para el cálculo de la demanda de agua se realizó un análisis y selección preliminar de datos utilizando la información del Banco de Autorizaciones de la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA).

Los resultados relevantes en esta investigación es el análisis de disponibilidad hídrica versus demanda de agua realizado a nivel de la cuenca alta y cuenca baja, con el propósito de conocer el déficit y exceso de recurso hídrico existente en estas zonas a nivel mensual.

**Palabras clave:** Cuenca del río Machángara; Balance hídrico; Precipitación; Evapotranspiración; Demanda de agua.



## ABSTRACT

This work makes a water balance in the Machángara River basin located in the province of Azuay and Cañar, has an area of 325 km<sup>2</sup> and it is composed of three microbasins: Chulco River, Machangara Alto River and Machángara Bajo River.

Three climatological variables were evaluated, those were the most influensive water amounts, was assessed so the precipitation, temperature (average, maximum and minimum) and evapotranspiration. In the same way was determined demand for water and identification of the most relevant uses of water resources.

Water availability in the basin was obtained from the intersection of information between precipitation and evapotranspiration. For the study of the precipitation is determined effective areas of each station with the method of Thiessen polygons, and for the calculation of evapotranspiration the Thornthwaite method, which is based on the average temperatura was used.

For the calculation of water demand was an analysis and preliminary selection of data using information from the Bank's authorization of the secretariat national water (SENAGUA).

Relevant results in this research is the analysis of water availability vs. water demand at the level of the upper and lower basin, in order to meet the deficit and excess of water resources in these areas at monthly level.

**Keywords:** Machángara River basin; Water balance; Precipitation; Evapotranspiration; Water Demand.



## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN.....</b>	<b>2</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>3</b>
<b>CAPITULO I .....</b>	<b>12</b>
<b>1. ASPECTOS GENERALES.....</b>	<b>12</b>
1.1 Introducción .....	13
1.2 Justificación.....	14
1.3 Objetivos .....	14
1.3.1 Objetivo general .....	14
1.3.2 Objetivos específicos.....	14
1.4 Metodología: .....	14
1.4.1 Análisis de los datos de precipitación .....	14
1.4.2 Análisis de los datos de temperatura.....	15
1.4.3 Calculo de la evapotranspiración .....	15
1.4.4 Análisis de concesiones de agua .....	16
1.4.5 Calculo de balance hídrico .....	16
1.5 Marco teórico .....	16
1.5.1 Introducción al balance hídrico .....	16
1.5.2 Precipitación atmosférica.....	18
1.5.3 Evapotranspiración .....	19
1.5.3.1 Métodos de Cálculo.....	21
1.5.4 Ciclo hidrológico .....	22
1.5.5 Cuenca hidrográfica.....	24
1.5.5.1 Fuentes hídricas .....	25
1.5.5.2 Demanda Hídrica .....	25
<b>CAPITULO II .....</b>	<b>27</b>
<b>2. Evaluar la precipitación y evapotranspiración en la cuenca del río Machángara. ....</b>	<b>27</b>
2.1 Características hidrográficas y político-administrativas de la zona de estudio. ....	28
2.1.1 Microcuenca del Río Chulco .....	30
2.1.2 Microcuenca del Río Machángara Alto .....	31
2.1.3 Microcuenca del Río Machángara Bajo.....	33
2.2 Características topográficas de la zona de estudio. ....	35
2.3 Características ecológicas de la zona de estudio. ....	37
2.4 Características hídricas de la zona de estudio. ....	38



<b>2.5</b>	<b>Características climatológicas de la zona de estudio .....</b>	<b>39</b>
2.5.1	Precipitación .....	40
2.5.1.1	Régimen de la precipitación mensual .....	40
2.5.1.2	Régimen de la precipitación anual .....	43
2.5.2	Distribución espacial de la precipitación.....	45
2.5.3	Régimen de temperatura media .....	47
2.5.3.1	Régimen de temperatura máxima y mínima .....	50
<b>2.6</b>	<b>Evapotranspiración .....</b>	<b>52</b>
2.6.1	Cálculo de la Evapotranspiración.....	52
<b>CAPITULO III .....</b>	<b>55</b>	
<b>3.</b>	<b>Evaluar la demanda de agua e identificación de usos que se da al recurso. ....</b>	<b>55</b>
3.1	Concesiones de agua .....	56
3.1.1	RIEGO .....	58
3.1.2	PISCÍCOLAS.....	61
3.1.3	INDUSTRIA .....	62
3.1.4	HIDROELÉCTRICA .....	65
3.1.5	CONSUMO HUMANO.....	67
3.1.6	ABREVADERO .....	70
3.2	CONSUMO MENSUAL TOTAL.....	72
<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>73</b>	
<b>4.</b>	<b>Balance hídrico de la Cuenca del Río Machángara. ....</b>	<b>73</b>
4.1	Generalidades .....	74
4.2	Disponibilidad del recurso hídrico .....	74
4.3	Ecuación y Componentes del Balance Hídrico incluida la demanda antrópica. ....	79
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>84</b>	
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>87</b>	
<b>ANEXOS .....</b>	<b>90</b>	

## Índice de Tablas

Tabla 1 Parroquias de la cuenca del río Machángara .....	28
Tabla 2 Parroquias - Microcuenca del Río Chulco .....	30
Tabla 3 Parroquias - Microcuenca del Río Machángara Alto .....	32
Tabla 4 Parroquias - Microcuenca del Río Machángara Bajo .....	34
Tabla 5 Fuentes Hídricas .....	38
Tabla 6 Régimen de la Precipitación Mensual .....	41
Tabla 7 Temperatura Media Mensual °C .....	47
Tabla 8 Temperatura Máxima y Mínima .....	50
Tabla 9 Temperatura Anual °C .....	51
Tabla 10 Temperatura media de las Estaciones .....	52
Tabla 11 Cálculo del Índice Térmico .....	53
Tabla 12 Cálculo del Exponente .....	53
Tabla 13 Evapotranspiración de Referencia .....	53
Tabla 14 Concesiones Destinadas para Riego .....	58
Tabla 15 Concesiones Destinadas para Piscicultura .....	61
Tabla 16 Concesiones Destinadas para Industria .....	63
Tabla 17 Concesiones Destinadas para Generación de Energía Eléctrica .....	65
Tabla 18 Concesiones Destinadas para Consumo Humano .....	67
Tabla 19 Concesiones Destinadas para Abrevaderos .....	70
Tabla 20 Concesión Total de Agua para la Cuenca del Río Machángara .....	72
Tabla 21 Déficit / Superávit de Agua .....	74
Tabla 22 Disponibilidad de Agua (hm <sup>3</sup> ) .....	76
Tabla 23 Cálculo de Balance Hídrico (zona alta) .....	81
Tabla 24 Cálculo de Balance Hídrico (zona baja) .....	82

## Índice de Gráficos

Gráfico 1 Cuenca del Río Machángara .....	29
Gráfico 2 Microcuenca del Río Chulco .....	31
Gráfico 3 Microcuenca del Río Machángara Alto .....	33
Gráfico 4 Microcuenca del Río Machángara Bajo .....	35
Gráfico 5 Alturas de la Cuenca del Río Machángara .....	36

## Índice de Imágenes

Imagen 1 Distribución Espacial de la Precipitación (mm) .....	44
Imagen 2 Distribución Espacial de la Temperatura °C .....	49

## Índice de Figuras

Figura 1 Distribución de Fuentes Hídricas.....	39
Figura 2 Variación Mensual de la Precipitación (mm) .....	41
Figura 3 Variación Mensual de la Precipitación (mm) .....	42
Figura 4 Variación Mensual de la Precipitación (mm) .....	42
Figura 5 Variación Mensual de la Precipitación (mm) .....	43
Figura 6 Precipitación Total Anual (mm).....	43
Figura 7 Método de Thiessen para las tres Estaciones .....	45
Figura 8 Método de Thiessen .....	46
Figura 9 Variación Mensual de Temperatura (°C).....	48
Figura 10 Variación Anual de la Temperatura Media (°C) .....	49
Figura 11 Variación Anual de Temperatura °C .....	51
Figura 12 Evapotranspiración de referencia mensual .....	54
Figura 13 Evapotranspiración de referencia Anual .....	54
Figura 14 Superávit (mm).....	75
Figura 15 Déficit / Superávit (mm) .....	76
Figura 16 Comparación entre disponibilidad de agua vs demanda hídrica de la zona alta (hm <sup>3</sup> ) .....	81
Figura 17 Comparación entre disponibilidad de agua vs demanda hídrica de la zona baja (hm <sup>3</sup> ) .....	83

## Índice de Mapas

Mapa 1 Ubicación de Usos del Agua .....	57
Mapa 2 Concesiones Destinadas a Riego .....	60
Mapa 3 Concesiones Destinadas a Piscicultura.....	62
Mapa 4 Concesiones Destinadas para Uso Industrial.....	64
Mapa 5 Concesiones Destinadas para Generación Eléctrica .....	66
Mapa 6 Concesiones Destinadas para Consumo Humano.....	69
Mapa 7 Concesiones Destinadas para Abrevaderos.....	71

## CLÁUSULA DE DERECHO DE AUTOR



Universidad de Cuenca  
Clausula de derechos de autor

*Esteban Adrián Carchi García*, autor de la tesis "ELABORACIÓN DE UN BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DEL RÍO MACHÁNGARA", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Ambiental. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 20 de Octubre de 2015



Esteban Adrián Carchi García

C.I: 0106580087



## CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL



Universidad de Cuenca  
Clausula de propiedad intelectual

*Esteban Adrián Carchi García*, autor de la tesis "ELABORACIÓN DE UN BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA DEL RÍO MACHÁNGARA", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

CUENCA, 20 de Octubre de 2015



Esteban Adrián Carchi García

C.I: 0106580087



## AGRADECIMIENTO

*El presente trabajo de tesis agradezco a dios por bendecirme para llegar a donde he llegado.*

*A mi director de tesis, Ing. Msc. Alex Avilés Añazco por su apoyo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia y su paciencia ha logrado en mí que pueda terminar mi trabajo con éxito.*

*En general agradezco a todas y cada una de las personas que han estado en todo el proceso para el desarrollo de mi tesis.*



## DEDICATORIA

*Esta tesis en primer lugar la dedico a Dios quien supo guiarme y darme fuerzas para culminar con mi trabajo.*

*A mi madre Rosa Elena García Siavichay por su apoyo, consejos, amor, ayuda en los momentos más difíciles y por brindarme los recursos necesarios para mi estudio.*

*A mis hermanos por estar siempre cuando los necesito.*



# **CAPITULO I**

## **1. ASPECTOS GENERALES**

## 1.1 Introducción

Es elemental el estudio de la cantidad de agua existente en una cuenca hidrográfica para establecer una repartición equitativa del recurso hacia los diferentes usuarios y usos efectivos que se presentan en una determinada área.

La cuenca del río Machángara posee una superficie de 325 km<sup>2</sup> (IGM, 2014) ubicada en la provincia de Azuay y Cañar. Dentro de esta se encuentran localizadas trece parroquias incluyendo una parte de la ciudad de Cuenca.

Los principales usos que tiene el recurso hídrico dentro de la cuenca del río Machángara son para consumo humano (0.377 hm<sup>3</sup>/mes), riego (3.695 hm<sup>3</sup>/mes), industria (2.325 hm<sup>3</sup>/mes), abrevaderos (0.0069 hm<sup>3</sup>/mes), piscicultura (0.068 hm<sup>3</sup>/mes) y generación de energía (11.115 hm<sup>3</sup>/mes), estos datos se obtiene de SENAGUA, Banco Autorizaciones 1973-junio 2014.

Además la cuenca posee el bosque protector Machángara localizado en la parte alta y media, conserva una extensión de 25.225 hectáreas con importantes extensiones de páramo (Consejo de la Cuenca del Río Machángata, 2006). Los páramos son reconocidos y apreciados por su importancia hidrología, además las personas utilizan el agua de los páramos para consumo, riego y generación de electricidad.

En esta cuenca que abastece agua a múltiples usos es importante conocer con cuántos recursos hídricos se dispone para una planificación, gestión adecuada del agua y satisfacción de los diferentes usuarios.

## **1.2 Justificación**

La existencia de pocos estudios que realizan un balance hídrico en cuencas del Ecuador, y dada la necesidad e importancia de saber con cuanto recurso hídrico se cuenta en una cuenca hídrica para los diferentes usos, se plantea el presente estudio que tiene como propósito evaluar y cuantificar la disponibilidad hídrica en la cuenca del río Machángara con la finalidad de manejar y gestionar de una manera ordenada el agua.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Elaboración de un Balance Hídrico en la Cuenca del Río Machángara.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Evaluar la precipitación y evapotranspiración en la cuenca del río Machángara.
- Evaluar la demanda de agua e identificación de los usos más relevantes de los recursos hídricos.
- Realizar un balance hídrico de la Cuenca del Río Machángara.

## **1.4 Metodología:**

### **1.4.1 Análisis de los datos de precipitación**

Los datos de precipitación que se utilizaran en el estudio fueron obtenidos del INAMHI, cuyo periodo de datos es 1988-2011 de cada estación (Labrado, Chanlud y Aeropuerto). La información adquirida tiene vacíos en algunos meses, en los cuales se colocara el promedio de los meses de años anteriores, estos datos se presentan en el Anexo 1.

### 1.4.2 Análisis de los datos de temperatura

Los datos de temperatura que utilizaremos fueron obtenidos del INAMHI, cuyo periodo de datos es 1988-2011 de la estación del Aeropuerto y Labrado. La estación de Chanlud presenta datos del periodo 2000-2012, estos datos se presentan en el Anexo 2.

### 1.4.3 Calculo de la evapotranspiración

Se utilizará el método de Thornthwaite para el estudio, en 1948 fue desarrollado este método empírico para estimar la Evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>), y se basa principalmente en la temperatura media.

Dicha fórmula viene expresada como [Sutcliffe, 2004]:

$$ET_o = 16 \left(10 \frac{t}{I}\right)^a \quad (1)$$

Donde:

t = temperatura media mensual en grados centígrados.

i = índice térmico mensual:

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514} \quad (2)$$

I = índice anual de calor:

$$I = \sum_n i = \sum \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514} \quad (3)$$

a = Exponente que varía con el índice anual de calor I:

$$a = 0.000000675I^3 - 0.0000771I^2 + 0.0179 I + 0.49239 \quad (4)$$

Este método necesita la temperatura media mensual para estimar ET<sub>o</sub> para cada mes del año.

#### **1.4.4 Análisis de concesiones de agua**

Los datos de concesiones de agua que utilizaremos fueron facilitados por SENAGUA, presentados en una matriz general de concesiones (Banco Autorizaciones 1973\_ junio2014), de esta tabla solo se estudia los datos que se encuentran dentro de la cuenca del río Machángara, en el Anexo 5 se presenta el registro histórico completo de las concesiones de agua.

#### **1.4.5 Calculo de balance hídrico**

Para el cálculo de balance hídrico se utilizara la oferta y demanda hídrica de la cuenca del río Machángara, la ecuación a utilizar se describe como:

Cantidad de agua (Superávit o Déficit)= disponibilidad de agua – demanda de agua (5)

### **1.5 Marco teórico**

#### **1.5.1 Introducción al balance hídrico**

Balance hídrico o balance de agua en hidrología es una ecuación que se utiliza para describir las entradas y salidas de agua de un sistema. El concepto de balance hídrico deriva del balance en contabilidad, es decir de un equilibrio entre todos los recursos hídricos que ingresan al sistema y los que salen, en un intervalo de tiempo determinado (León, 2005).

Un sistema puede ser uno de los varios dominios hidrológicos, como son la columna de suelo o una cuenca de drenaje.

Una ecuación general de balance hídrico es:

$$P = Q + E + \Delta S \quad (6)$$



Donde:

P: precipitación atmosférica.

Q: escorrentía superficial

E: evapotranspiración

\ Delta S: cambio en el almacenamiento (suelo o en rocas)

Un balance hídrico se puede utilizar para gestionar el suministro de agua y predecir cuándo habrá escasez. También se utiliza en irrigación, modelos de escorrentía, control de avenidas y de contaminación. También se utiliza en diseño de drenajes subterráneos que puede ser horizontal (con tuberías) o drenaje vertical a través de pozos (Caicedo, 2009)

El balance hídrico se puede describir utilizando un gráfico con los niveles de precipitación y evapotranspiración a menudo en escala mensual.

No obstante hay que distinguir que existen dos tipos de demandas, la demanda natural que comprende principalmente a la pérdida de agua por evapotranspiración y la demanda antropogénica detallada en el capítulo 3. En este estudio se realizará el balance hídrico haciendo un análisis con los dos tipos de demanda.

El balance hídrico natural incluye los siguientes componentes (Iñiguez, 2003):

$$P + Q_{si} + Q_{ui} - E - ET - Q_{so} - Q_{uo} - DA - n = 0 \quad (7)$$

Donde:

P: precipitación

E: evaporación

ET: evapotranspiración

Q<sub>si</sub>: caudal superficial de entrada

Q<sub>ui</sub>: caudal subterráneo de entrada

Q<sub>so</sub>: caudal superficial de salida

Quo: caudal subterráneo de salida

DA: cambio de almacenamiento en la cuenca (puede ser positivo o negativo)

n: error de estimación (debe ser menor al 5%)

Considerando la información disponible en la cuenca de estudio se utiliza la siguiente ecuación para el balance hídrico:

$$P - ET = \Delta \quad (8)$$

Donde  $\Delta$  representa la cantidad de agua que existe en la cuenca (superávit o déficit) o disponibilidad de agua después de haber restado las entradas de agua (precipitación) y salidas de agua debido a la demanda atmosférica de vapor agua (evapotranspiración potencial) la cual está ajustada a los parámetros climáticos de la zona de estudio.

### 1.5.2 Precipitación atmosférica

En meteorología la precipitación es el agua procedente de la atmósfera que se deposita sobre la superficie de la tierra en forma sólida o líquida como consecuencia de los procesos de condensación y agregación que afectan al vapor de agua dentro de las nubes. Las principales formas de precipitación son la lluvia, la nieve y el granizo. Los efectos de los microclimas urbanos llevan a un incremento de las precipitaciones, tanto en cantidad como en intensidad, que caen sobre las ciudades. El calentamiento global también está causando cambios en los patrones de las precipitaciones a nivel planetario (Manas, 2005).

Las precipitaciones son uno de los componentes principales del ciclo del agua y son responsables de depositar la mayor parte del agua dulce del planeta.

Entre los mecanismos que producen la precipitación se incluyen los procesos convectivos los de estratificación y los orográficos que forman las nubes. Los procesos convectivos conllevan fuertes corrientes ascendentes que pueden causar un gran cambio en la atmósfera a una determinada localización en una hora y causar fuertes precipitaciones, mientras que los procesos de estratificación involucran fuerzas ascendentes más débiles y provoquen precipitaciones menos intensas (Bravo, 2006).

La precipitación se puede clasificar en tres tipos según si cae en forma de agua líquida, agua líquida que se congela al llegar a tierra o agua sólida. Mezclas de estos tres tipos pueden caer de manera simultánea. La lluvia que se congela en contacto con una masa de aire más fría situada a ras del suelo se denomina lluvia helada. Las formas sólidas de precipitación, agua congelada, incluyen la nieve y diferentes formas de granizo (Rascón, 2005).

El pluviómetro mide directamente la precipitación líquida o pluviometría. En el caso de haber nieve en el pluviómetro ésta se funde con una cantidad conocida de agua caliente y se determina como litros de agua líquida.

La precipitación se mide en milímetros o en litros por metro cuadrado. Las dos unidades son equivalentes, ya que un litro en un recipiente de 1 metro cuadrado sube un milímetro.

### **1.5.3 Evapotranspiración**

La evapotranspiración (ET) es la suma de la evaporación y la transpiración vegetal desde la superficie del suelo hacia la atmósfera. La evapotranspiración es parte importante del ciclo del agua. La evapotranspiración potencial (ETP) es la representación de la demanda medioambiental y representa la tasa de

evapotranspiración de una vegetación densa baja, homogénea y con suficiente agua para no limitar su crecimiento, es decir que cubre completamente el suelo, con un peso uniforme y suficientemente provista de agua (Rascón, 2005).

- **Evapotranspiración Potencial (ETP):** es la cantidad máxima de agua que puede evaporarse desde el la superficie del suelo cubierto por vegetación y sin llegar a un estrés hídrico (FAO, 2006).
- **Evapotranspiración de Referencia (ETo):** representa la tasa de evapotranspiración de un cultivo en específico con características de crecimiento similar que cubren totalmente el suelo y con la cantidad necesaria de agua para que no exista un déficit hídrico (FAO, 2006).
- **Evapotranspiración Real (ETr):** cantidad real de evapotranspiración, es decir lo que se encuentra en el campo de estudio, para el cálculo de ETr se necesita más parámetros a diferencia de la ETP y ETo (Wikipedia, 2015).
- **Coeficiente de Cultivo (Kc):** el coeficiente de cultivo es un valor de ajuste para el cálculo de la ETr y se presenta en tablas dependiendo las características de cada cultivo (FAO, 2006).

Factores que influyen en la evapotranspiración:

- Etapa de crecimiento de las plantas,
- Porcentaje de cubrimiento del suelo,
- Radiación solar,
- Humedad,
- Temperatura y viento.

En relación a las estimaciones de evapotranspiración podemos nombrar las siguientes:

- Métodos indirectos que utilizan fórmulas matemáticas, la más conocida y utilizada es la del método FAO-56 Penman – Monteith.
- Métodos directos para calcular la evapotranspiración real que hacen uso de dispositivos llamados lisímetros que consisten en tener una parcela de tierra cultivada sobre una báscula de precisión de gran tamaño. Con ello se consigue medir las pérdidas de peso que, con las debidas correcciones, se consideran pérdidas de agua por evapotranspiración (Ramakrishna, 1997).

Entre los métodos indirectos más comunes para calcular la evapotranspiración potencial destacan los siguientes:

#### **1.5.3.1 Métodos de Cálculo**

- Radiación: este método precisa disponer de datos mensuales de temperatura media, humedad relativa media, número de horas de sol y velocidad del viento diurno (MARTÍNEZ, 2001).
- Penman: este método requiere disponer de temperaturas medias mensuales, humedades relativas media y máxima, número de horas de sol, velocidad del viento y estimación de la relación entre velocidades del viento diurnas y nocturnas (Richard G. Allen, 2006).
- Blaney-Criddle: se basa en los datos de temperatura media, humedad relativa mínima, número de horas de sol y velocidad diurna del sol (Valverde, 1998).

- Hargreaves: es necesario datos de temperatura y radiación solar para realizar el cálculo de evapotranspiración potencial (Hargreaves, 1985)
- Thornthwaite: tan sólo requiere los datos de temperatura media mensuales, y permite calcular la evapotranspiración potencial mensual.

Entre los métodos más utilizados, por su simplicidad para el cálculo de la evapotranspiración está el método de Thornthwaite, uno de los métodos empíricos más prácticos para realizar cálculos detallados de balances anuales y mensuales de agua, y ampliamente usado.

El método de Thornthwaite aporta valores aceptables en zonas más o menos húmedas, en cambio no funciona bien para las zonas áridas o semiáridas (Vorhauer, C. , J. Hamlett, 1996).

La falta de información en zonas de montaña como la inexistencia de datos de variables como la humedad, la radiación, la velocidad del viento, etc., ha conducido a estimar la evapotranspiración mediante la aplicación del método empírico de Thornthwaite (1948), que únicamente necesita los datos mensuales de temperatura media.

#### **1.5.4 Ciclo hidrológico**

Este ciclo comienza con la evaporación del agua de los mares y de la superficie terrestre gracias al calor del sol que forma las nubes, agua que regresa a la Tierra en forma de lluvia, nieve o granizo. La mayor parte que regresa lo hace sobre los mares. La precipitación que cae sobre los continentes devuelve lentamente al mar y beneficia a los habitantes de la zona por donde circula (Vorhauer, C. , J. Hamlett, 1996).

Su distribución por la superficie terrestre no es uniforme: mientras que en las zonas áridas puede no llover durante años, en los trópicos llueve torrencialmente todos los días durante la estación de más lluvia.

Una parte del agua de lluvia puede llegar hasta el suelo o ir a parar sobre las plantas. Esta agua puede volver rápidamente a la atmósfera al evaporarse por el calor del ambiente, pero, si la lluvia es fuerte y continua, el agua cae hacia el suelo y penetra en la superficie, el resto corre superficialmente produciendo la escorrentía superficial que finalmente drena hacia los cauces. El agua infiltrada es muy importante para la utilización de las plantas.

Si continúa la lluvia, el agua se va filtrando hasta zonas profundas. Cuando encuentra una capa de materiales impermeables que impide el paso, como arcilla o rocas sin grietas, para su marcha, esta queda almacenada formando grandes bolsas subterráneas que pueden llegar a tener varios kilómetros de altura. Son los acuíferos, donde el agua puede estar durante miles de años (Sheng, T.C., R.E. Barret, and T.R. Mitchell. 1997).

Si la lluvia que cae es demasiado intensa como para ser absorbida por el suelo, se forma una capa de agua sobre la superficie. A esta agua que se desplaza sobre el suelo siguiendo las pendientes del terreno lo llamamos agua de escorrentía y es responsable de muchos fenómenos de erosión. Los suelos buenos permiten que el agua se infiltre con facilidad y el agua de escorrentía no causa destrozos. En suelos muy arcillosos, o aquellos que han sido desprovistos de vegetación, absorben muy poca agua y esta fluye veloz por las laderas, empobreciéndose cada vez más (Soubannier, 1985).

Siguiendo las faldas de las montañas, el agua de escorrentía de algunas de ellas suele converger en el fondo de un valle donde el nivel freático supera la superficie. De esta forma, el agua se encarrila y se ordena en sistemas

de drenaje compuestos por pequeños canales que se unen para formar grandes arroyos que desembocan en un río.

En relación a los factores más relevantes del ciclo hidrológico podemos destacar:

- a) El sol, actúa sobre los océanos, lagos y ríos, transformando el agua en vapor.
- b) Al ascender, baja la temperatura por lo que el vapor se condensa en pequeñas gotas de agua.
- c) La mayor parte de las gotas acumuladas vuelven a la tierra en forma de lluvia.
- d) El agua de las precipitaciones cae en los ríos, lagos, estanques y otros. El agua cae y sigue la dirección de los acuíferos y la gran mayoría, vuelve a evaporarse.

### 1.5.5 Cuenca hidrográfica

La cuenca hidrográfica es un área natural que se compone de agentes biofísicos, biológicos y antropocéntricos. En la cual existe agua proveniente de precipitaciones, y la acumulación de este recurso forma un cauce principal que desagua en los océanos, mares y lagos (Ramakrishna, 1997).

- **Subcuenca:** Son los ríos secundarios que desaguan en el río principal, por este motivo cada afluente tiene su respectiva cuenca a la cual la denominamos subcuenca. Una subcuenca puede tener varias microcuencas dentro de ella (Ramakrishna, 1997).
- **Microcuenca:** Es la agrupación de pequeñas áreas de una subcuenca, afluentes a los ríos secundarios (Ramakrishna, 1997).



#### 1.5.5.1 Fuentes hídricas

- **Laguna:** Es un depósito natural o artificial en el cual se acumula agua de forma temporal o permanente, se caracteriza por ser de dimensión menor que un lago. En la cuenca del río Machángara las lagunas se encuentran localizadas en la zona media y en la zona alta de la cuenca.
- **Vertientes:** Las vertientes se encuentran en su gran mayoría en la parte media de la cuenca, sus aguas generalmente son de buena calidad, poseen diferentes usos, estos pueden ser: para consumo humano, pecuario, piscicultura y riego.
- **Quebrada:** Es un área de drenaje por el cual circula el recurso hídrico, la velocidad de recorrido depende de las pendientes ya que pueden ser pronunciadas o al contrario con pendiente leve.
- **Río:** Es un cauce natural donde corre agua de forma continua durante todo el año.

#### 1.5.5.2 Demanda Hídrica

La demanda hídrica es la cantidad necesaria de agua para satisfacer las necesidades de la población, uso industrial, uso agrícola, pecuario, producción energética, piscícolas, recreación, entre otras actividades.

La demanda hídrica se puede clasificar de dos maneras:

**Uso consuntivo:** Se consume o extrae el agua de su fuente de origen. Los usos consuntivos pueden ser los siguientes:



- Uso agrícola
- Uso poblacional
- Uso industrial
- Uso pecuario

**Uso no consuntivo:** No consume agua de su fuente de origen, el agua es solo usada no consumida. Los usos no consuntivos pueden ser los siguientes:

- Uso hidroenergético
- Piscícolas
- Uso recreativo



## **CAPITULO II**

### **2. Evaluar la precipitación y evapotranspiración en la cuenca del río Machángara.**

## 2.1 Características hidrográficas y político-administrativas de la zona de estudio.

La cuenca del río Machángara posee una superficie de 325 km<sup>2</sup> ubicada en la provincia de Azuay y Cañar. Dentro de esta se encuentran localizadas trece parroquias incluyendo una parte de la ciudad de Cuenca, la parroquia con mayor extensión es Chiquintad con 9258 ha, esta área equivale a 28.45 % de la totalidad de la cuenca. En la Tabla 1 se muestra las parroquias con el número de hectáreas y el porcentaje que representan en la cuenca.

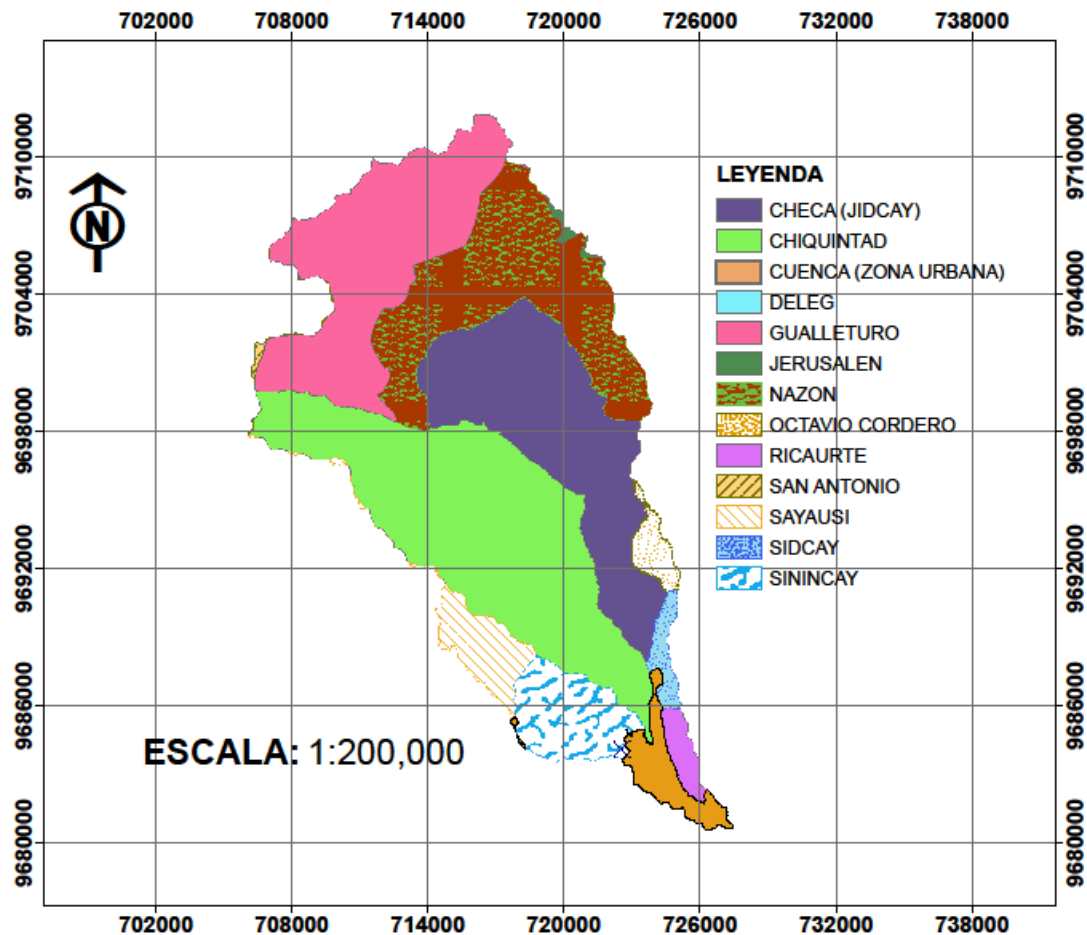
**Tabla 1 Parroquias de la cuenca del río Machángara**

#	PARROQUIA	AREA	
		(ha)	%
1	Cuenca	900	2.77
2	Checa	6260	19.24
3	Chiquintad	9258	28.45
4	Deleg	3	0.01
5	Gualleturo	6180	18.99
6	Jerusalén	87	0.27
7	Nazon	5643	17.34
8	Octavio Cordero	452	1.39
9	Ricaurte	403	1.24
10	San Aantonio	53	0.16
11	Sayausi	1142	3.51
12	Sidcay	390	1.20
13	Sinincay	1772	5.45
TOTAL		32543	100

Elaborado por: Carchi E, 2015  
Fuente: Instituto Geográfico Militar (IGM, 2013)

En el Gráfico 1 se muestra la delimitación de las parroquias dentro de la cuenca de estudio.

**Gráfico 1 Cuenca del Río Machángara**



WGS84 ZONA 17 SUR

Elaborado por: Carchi E, 2015

Fuente: Instituto Geográfico Militar (IGM, 2013)

La cuenca del río Machángara está conformado por tres microcuencas: Río Chulco, Río Machángara Alto y Río Machángara Bajo. La primera y segunda microcuenca tiene el mayor aporte de caudal y la tercera es la que recibe el aporte de agua de las microcuencas altas.

### 2.1.1 Microcuenca del Río Chulco

Hidrográficamente se encuentra en la parte alta de la cuenca del río Machángara, posee una superficie de 6623 ha y representa el 20% de la cuenca del río Machángara.

Dentro de la microcuenca del río Chulco se encuentran seis parroquias que se muestran en la Tabla 2, la parroquia con mayor área es Chiquindad con 3152 hectáreas, representando el 47.59 % de la microcuenca.

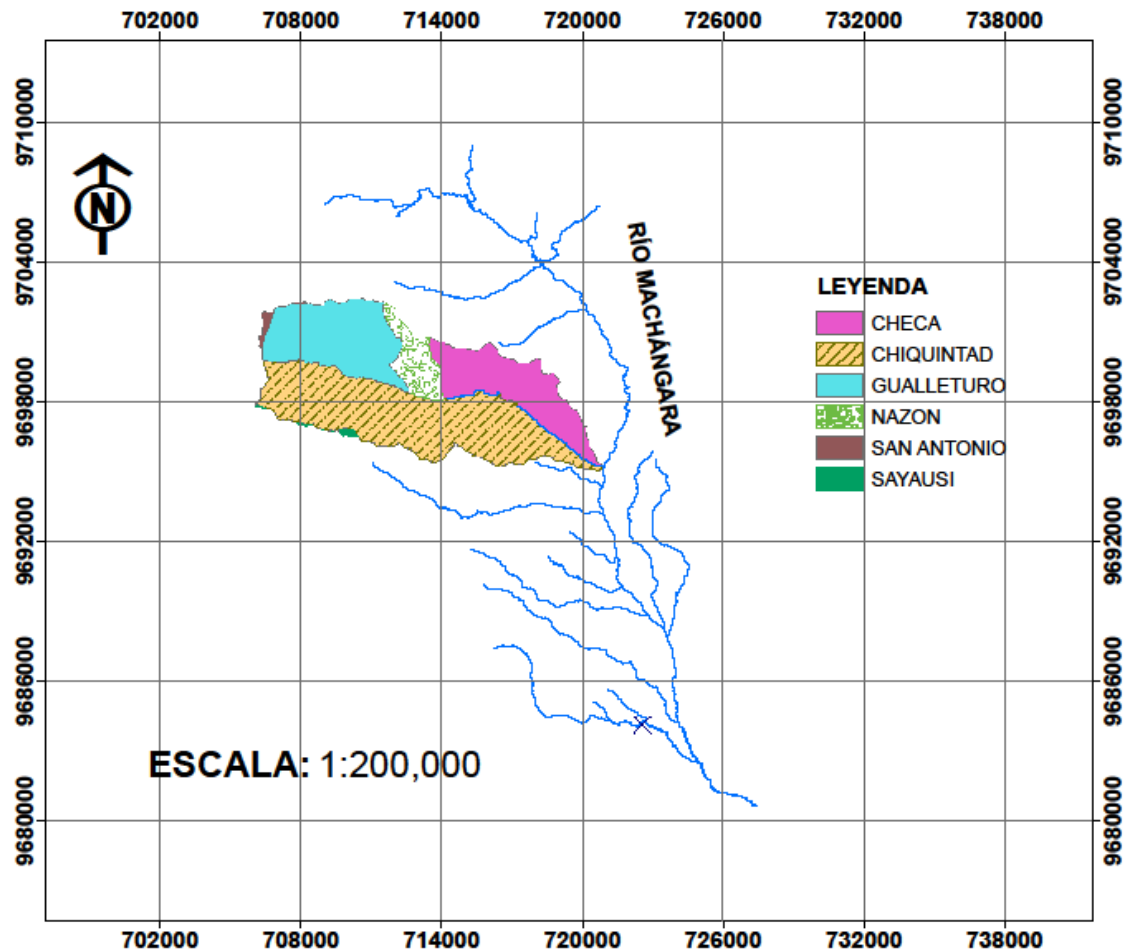
**Tabla 2 Parroquias - Microcuenca del Río Chulco**

PARROQUIA	AREA	
	(ha)	%
San Antonio	49	0.74
Sayausi	27	0.41
Chiquindad	3152	47.59
Gualleturo	1565	23.63
Nazon	477	7.20
Checa	1353	20.43
<b>TOTAL</b>	<b>6623</b>	<b>100</b>

Elaborado por: Carchi E, 2015

Fuente: Instituto Geográfico Militar (IGM,2013)

En el Gráfico 2 se muestra la microcuenca del río Chulco, delimitación de sus parroquias y la red hídrica de toda la cuenca.

**Gráfico 2 Microcuenca del Río Chulco**

WGS84 ZONA 17 SUR

Elaborado por: Carchi E, 2015

Fuente: Instituto Geográfico Militar (IGM,2013)

### 2.1.2 Microcuenca del Río Machángara Alto

Hidrográficamente se encuentra en la parte alta de la cuenca del río Machángara, posee una superficie de 13238 ha y representa el 41% de la cuenca del río Machángara.

Dentro de la microcuenca del río Machángara Alto se encuentran siete parroquias que se muestran en la Tabla 3, la parroquia con mayor área es Nazon con 5165.75 hectáreas, representando el 39.02 % de la microcuenca.

**Tabla 3 Parroquias - Microcuenca del Río Machángara Alto**

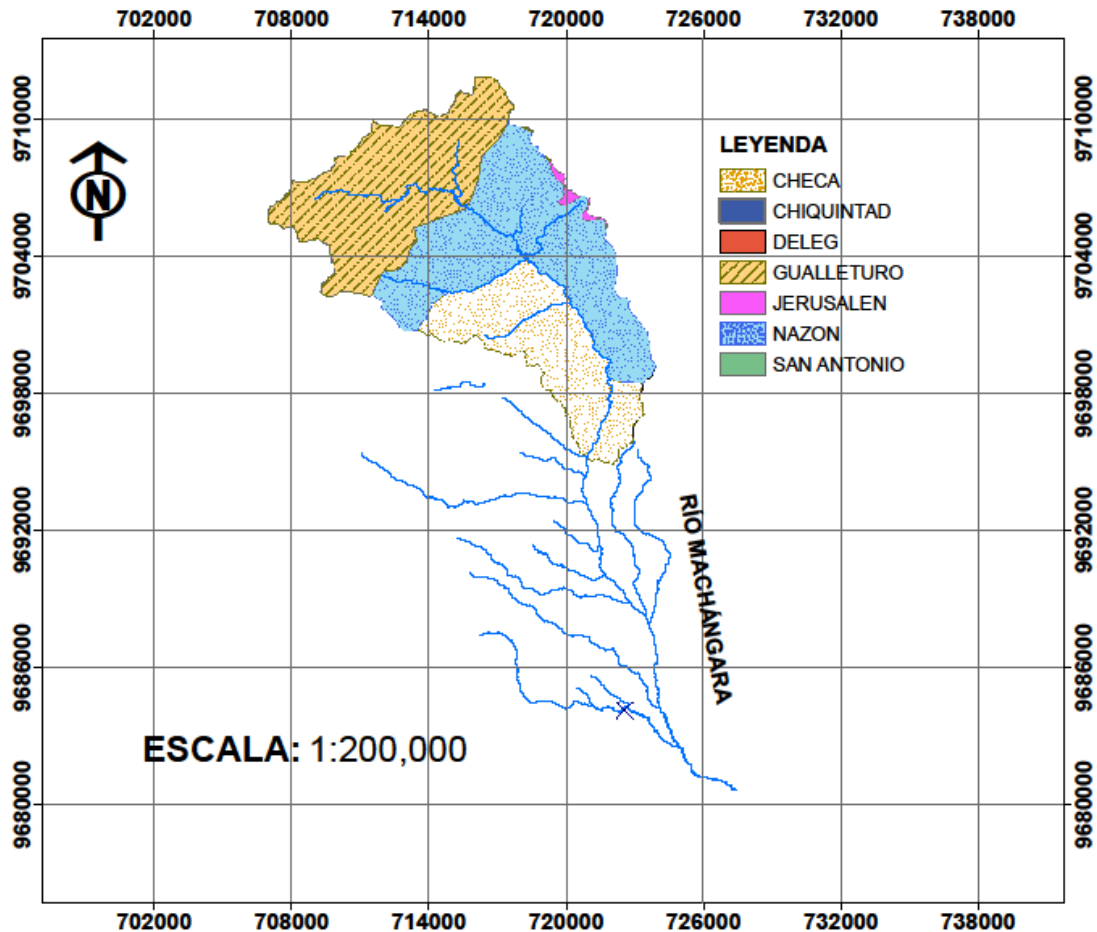
PARROQUIA	AREA	
	(ha)	%
San Antonio	4.12	0.03
Deleg	3.37	0.03
Chiquintad	0.10	0.001
Jerusalen	86.97	0.66
Gualleturo	4614.98	34.86
Nazon	5165.75	39.02
Checa	3362.35	25.40
<b>TOTAL</b>	<b>13238</b>	<b>100</b>

Elaborado por: Carchi E, 2015

Fuente: Instituto Geográfico Militar (IGM,2013)

En el Gráfico 3 se muestra la microcuenca del río Machángara Alto, delimitación de sus parroquias y la red hídrica de toda la cuenca.



**Gráfico 3 Microcuenca del Río Machángara Alto**

WGS84 ZONA 17 SUR

Elaborado por: Carchi E, 2015

Fuente: Instituto Geográfico Militar (IGM,2013)

### 2.1.3 Microcuenca del Río Machángara Bajo

Hidrográficamente se encuentra en la parte baja de la cuenca del río Machángara, posee una superficie de 12683 ha y representa el 39% de la cuenca del río Machángara.

Dentro de la microcuenca del río Machángara Bajo se encuentran ocho parroquias que se muestran en la Tabla 4, la parroquia con mayor área es Chiquintad con 6106 hectáreas, representando el 48.14 % de la microcuenca.

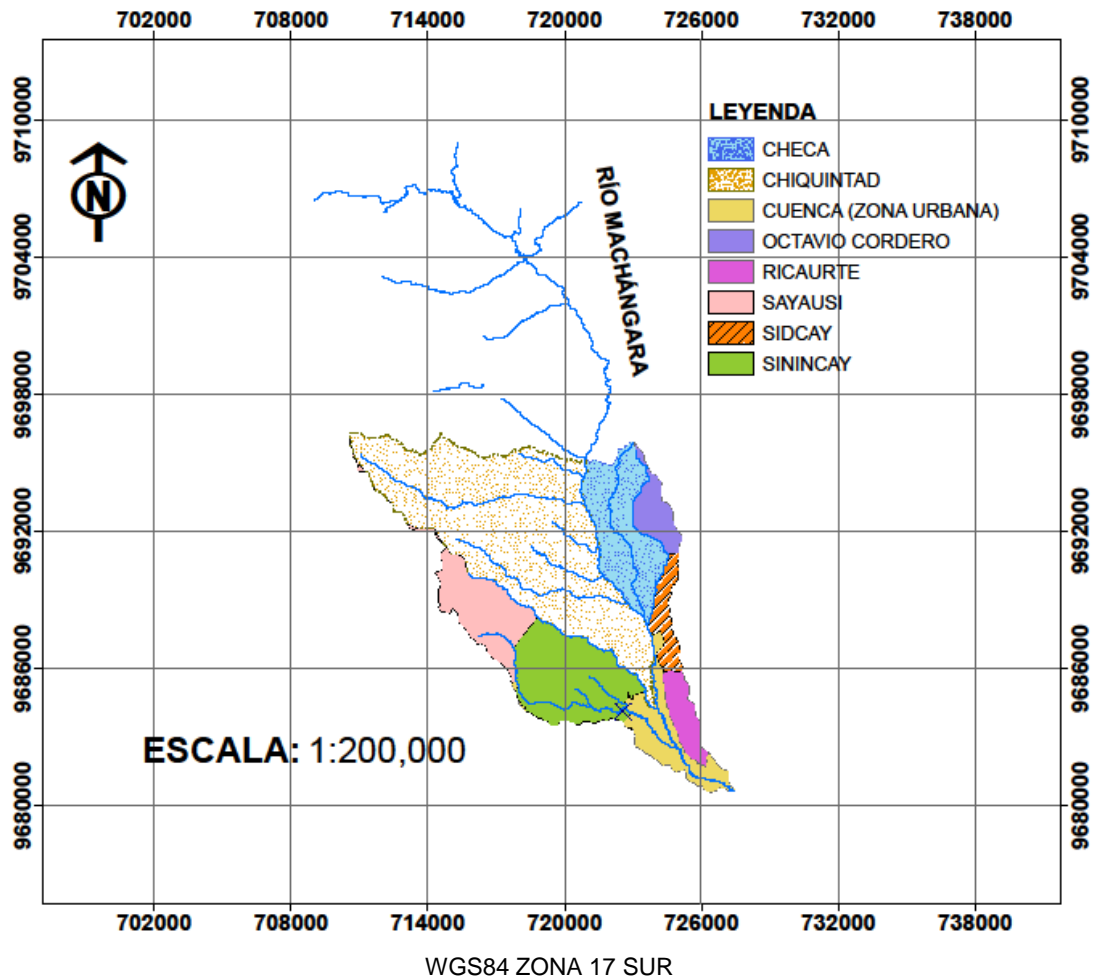
**Tabla 4 Parroquias - Microcuenca del Río Machángara Bajo**

PARROQUIA	AREA	
	(ha)	%
Checa	1545	12.18
Chiquintad	6106	48.14
Cuenca	900	7.10
Octavio Cordero	452	3.56
Ricaurte	403	3.18
Sayausi	1115	8.79
Sidcay	390	3.07
Sinincay	1772	13.97
<b>TOTAL</b>	<b>12683</b>	<b>100</b>

Elaborado por: Carchi E, 2015

Fuente: Instituto Geográfico Militar (IGM,2013)

En el Gráfico 4 se muestra la microcuenca del río Machángara Bajo, delimitación de sus parroquias y la red hídrica de toda la cuenca.

**Gráfico 4 Microcuenca del Río Machángara Bajo**

Elaborado por: Carchi E, 2015  
Fuente: Instituto Geográfico Militar (IGM,2013)

## 2.2 Características topográficas de la zona de estudio.

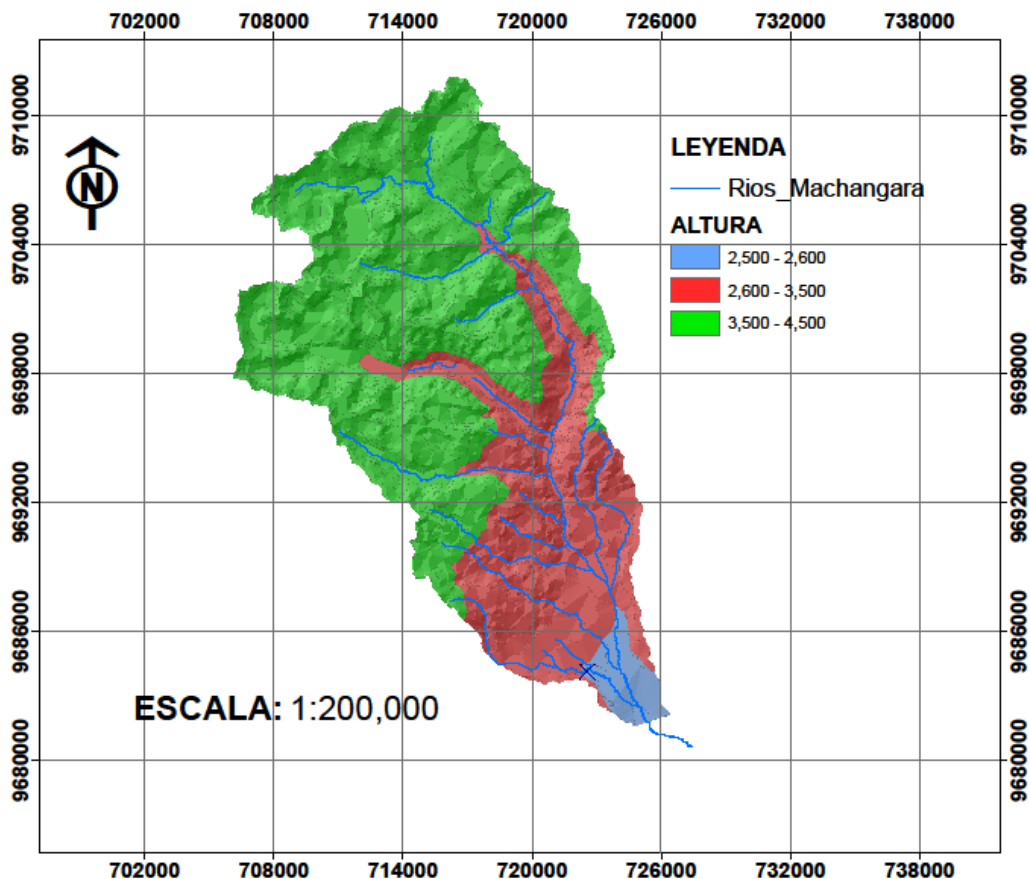
El relieve de la cuenca del río Machángara es el factor más influyente sobre la escorrentía, dado que a una mayor pendiente corresponderá un menor tiempo de concentración de las aguas en la red de drenaje y afluentes al curso principal.

La altitud de la cuenca del río Machángara se clasifica en tres grupos:

- cuenca alta: 3500 a 4500 msnm.
- cuenca media: 2600 a 3500 msnm.
- cuenca baja: 2500 a 2600 msnm.

En el Gráfico 5 podemos observar la cuenca del río Machángara delimitada en tres áreas representadas por las curvas de nivel, color celeste representa la altura que va de los 2500 a 2600 msnm (zona baja de la cuenca), el color rojo va de los 2600 a 3500 msnm (zona media de la cuenca) y el color gris representa la altura desde los 3500 a 4500 msnm (zona alta de la cuenca).

**Gráfico 5 Alturas de la Cuenca del Río Machángara**



WGS84 ZONA 17 SUR

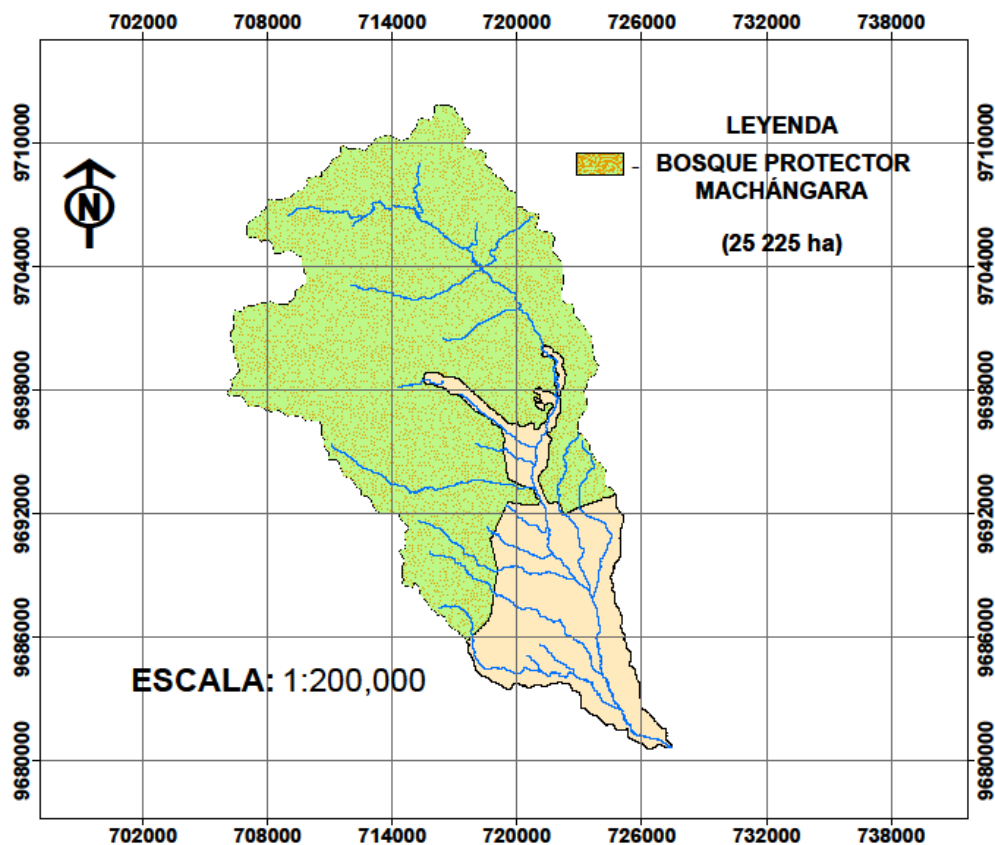
Elaborado por: Carchi E, 2015  
Fuente: Instituto Geográfico Militar (IGM, 2013)

### 2.3 Características ecológicas de la zona de estudio.

En la cuenca del río Machángara se ha identificado el Bosque Protector Machángara de gran importancia hídrica y de vida ecológica que posee 25.225 hectáreas preservadas de bosque y vegetación protectora.

En el Gráfico 6 se muestra la extensión del bosque protector, predominante de suelos clasificados como Andosoles ya que poseen una extraordinaria retención de agua, además son suelos negros y húmedos debido a la alta humedad y al clima frío, la descomposición de la materia orgánica es muy lenta y por ende la acumulación de esta (suelos ricos en nutrientes).

**Gráfico 6 Bosque Protector Machángara**



WGS84 ZONA 17 SUR

Fuente: (Consejo de la Cuenca del Río Machángara, 2006)  
Elaborado por: Carchi E, 2015

## 2.4 Características hídricas de la zona de estudio.

La identificación de fuentes hídricas de la cuenca del río Machángara se obtuvo de la base de datos del SENAGUA 1973 a junio 2014 y de la información cartográfica utilizada para la elaboración de mapas (Instituto Geográfico Militar, 2013). Según lo analizado existe 223 fuentes hídricas las cuales se encuentran distribuidas en: lagunas, vertientes (abrevaderos), quebradas y ríos.

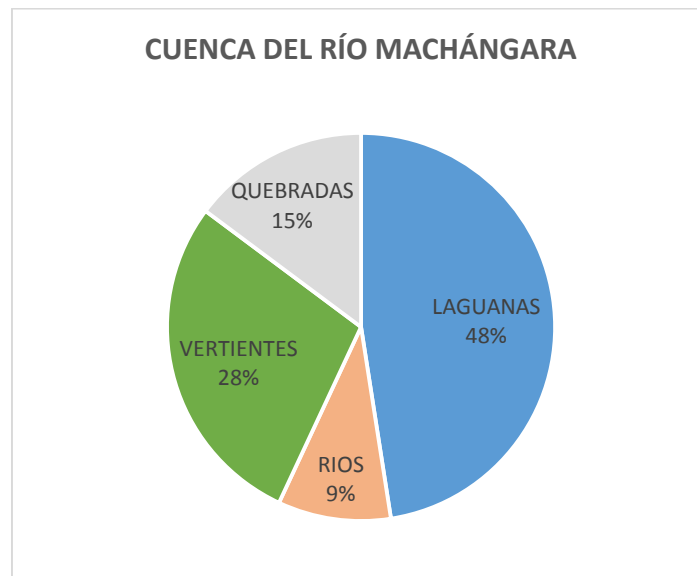
En la Tabla 5 se muestra la clasificación de las fuentes hídricas obtenidas de la base de datos de SENAGUA 1973 a junio 2014, teniendo un total de 223 fuentes hídricas en la cuenca del río Machángara.

**Tabla 5 Fuentes Hídricas**

<b>Distribución</b>	<b>Fuentes Hídricas</b>
Lagunas	106
Vertientes	63
Quebradas	33
Ríos	21
<b>TOTAL</b>	<b>223</b>

Fuente: Base de datos (SENAGUA 1973 a junio 2014)  
Elaborado por: Carchi E, 2015

En la Figura 1 se muestra el 100% de fuentes hídricas clasificadas en lagunas, abrevaderos, quebradas y ríos, referentes a la cuenca de estudio. Se tiene el 48% de lagunas, 28% de vertientes, 15% de quebradas y 9% de ríos.

**Figura 1 Distribución de Fuentes Hídricas**

Fuente: Base de datos (SENAGUA 1973 a junio 2014)  
Elaborado por: Carchi E, 2015

## 2.5 Características climatológicas de la zona de estudio

El análisis se realiza con información correspondiente al periodo 1988 – 2011, la cuenca se encuentra localizada en una zona de paramo con lluvias más frecuentes predominando un clima lluvioso-húmedo.

Para caracterizar y definir el clima de la cuenca hidrográfica es necesario analizar la precipitación, temperatura y evapotranspiración. La información de precipitación y temperatura provienen de los registros históricos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 1988-2011) de las estaciones meteorológicas localizadas en Chanlud, Labrado y Aeropuerto que se encuentran instaladas dentro de la cuenca de estudio.

### 2.5.1 Precipitación

La precipitación media anual oscila entre los 1000 y 1300 mm para la cuenca alta del río Machángara (estaciones de Chanlud y Labrado) y en la parte baja de la cuenca existe una precipitación media anual que fluctúa entre 600 y 900mm con respecto al periodo de estudio 1988-2011.

Las condiciones climáticas no siempre son de forma uniforme, existen variaciones con respecto al tiempo de lluvias y sequías, por tal motivo se identificó que el mes más seco es septiembre y el mes en el cual existe más precipitación es abril.

#### 2.5.1.1 Régimen de la precipitación mensual

Las características estacionales del clima en la cuenca del río Machángara, se presentan con variación de régimen de precipitaciones. Los cultivos y la cantidad de agua para las diferentes actividades que se realizan en la cuenca se ven afectados por su irregular distribución a lo largo del año.

En la Tabla 6 se presenta el promedio de la precipitación total correspondiente al periodo 1988-2011 de cada estación (Labrado, Chanlud y Aeropuerto).

- Localización de estaciones:

Estación	UTMx	UTMy
Labrado	714219	9697772
Chanlud	718864	9703952
Aeropuerto	724168	9680735

Fuente: (INAMHI, 2014)



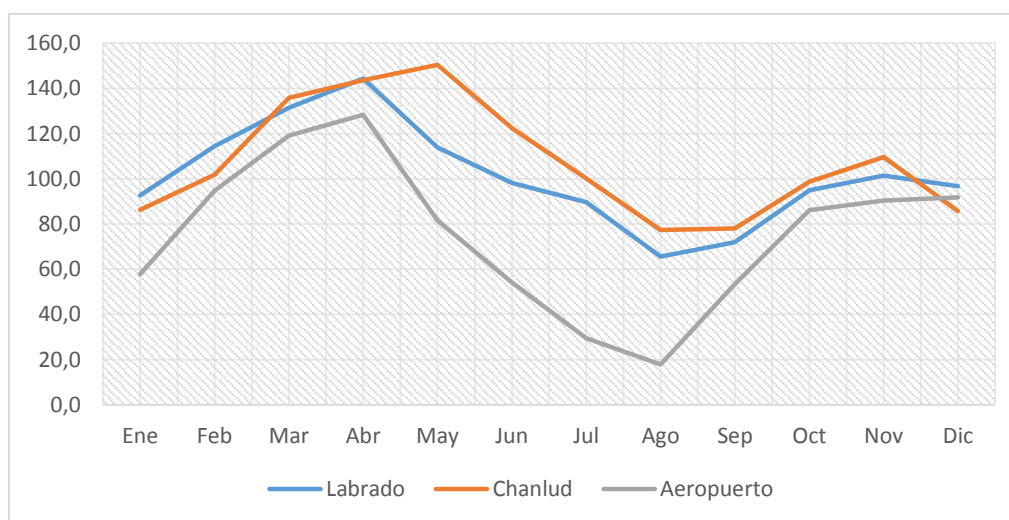
**Tabla 6 Régimen de la Precipitación Mensual**

Estación	Altitud	MES												SUMA
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Labrado	3335	92.7	114.4	131.4	144.4	113.9	98.2	89.6	65.6	72.0	94.8	101.4	96.7	1215.1
Chanlud	3485	86.3	101.8	135.9	143.6	150.5	122.3	100.1	77.4	78.1	98.7	109.6	85.7	1289.8
Aeropuerto	2525	57.7	94.7	119.1	128.3	81.6	54.0	29.4	17.8	53.4	86.1	90.4	91.7	904.2

Fuente: (INAMHI 1988-2011)  
Elaborado por: Carchi E, 2015

Las precipitaciones en esta zona se encuentran clasificadas en dos periodos húmedos y uno seco durante todo el año hidrológico, el periodo de lluvias con mayor magnitud comienza a partir del mes de febrero hasta el mayo, entre octubre y noviembre la magnitud de las lluvias también sufren un incremento, por otra parte los meses de junio, julio, agosto y enero las precipitaciones son menores.

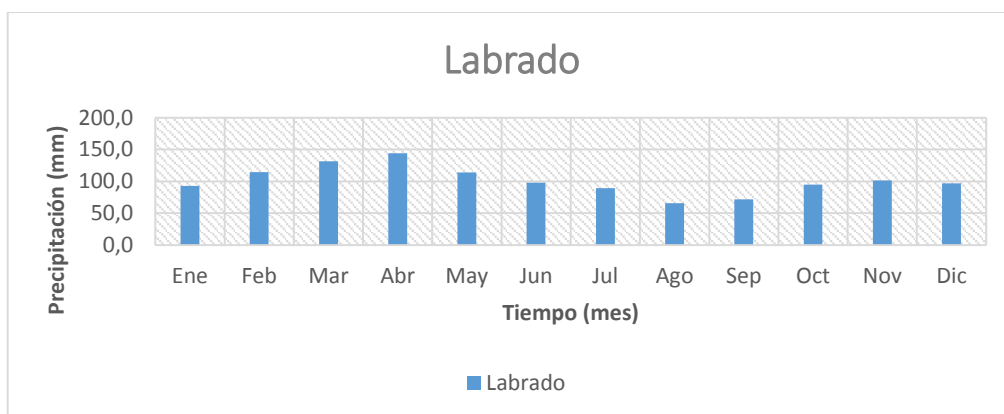
En la Figura 2 se muestra la variación mensual de la precipitación (mm) de las estaciones el Labrado, Chanlud y Aeropuerto correspondiente al periodo 1988-2011.

**Figura 2 Variación Mensual de la Precipitación (mm)**


Fuente: (INAMHI, 1988-2011)  
Elaborado por: Carchi E, 2015

En las siguientes figuras se muestra cada estación y su variación mensual de la precipitación.

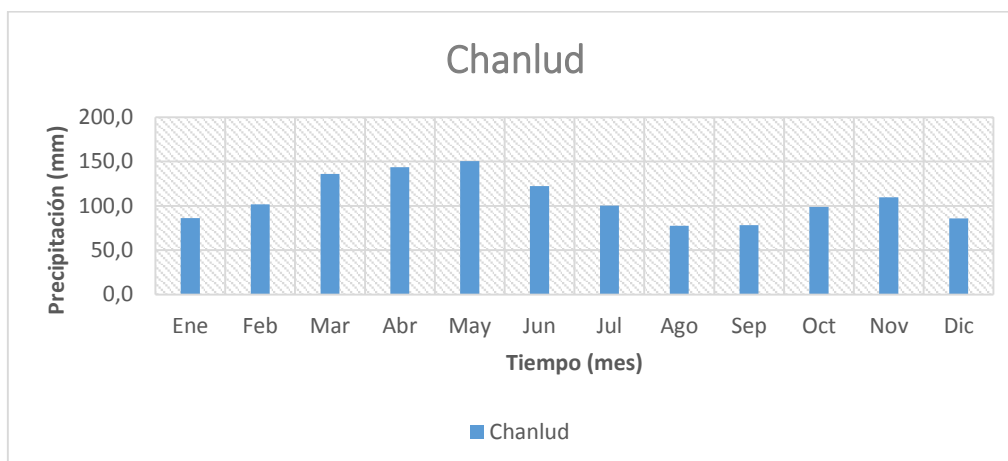
**Figura 3 Variación Mensual de la Precipitación (mm)**



Fuente: (INAMHI, 1988-2011)

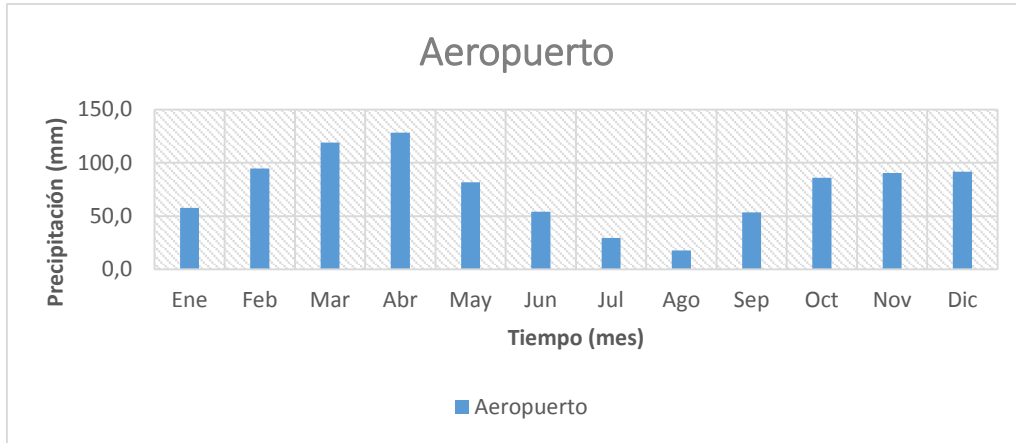
Elaborado por: Carchi E, 2015

**Figura 4 Variación Mensual de la Precipitación (mm)**



Fuente: (INAMHI, 1988-2011)

Elaborado por: Carchi E, 2015

**Figura 5 Variación Mensual de la Precipitación (mm)**

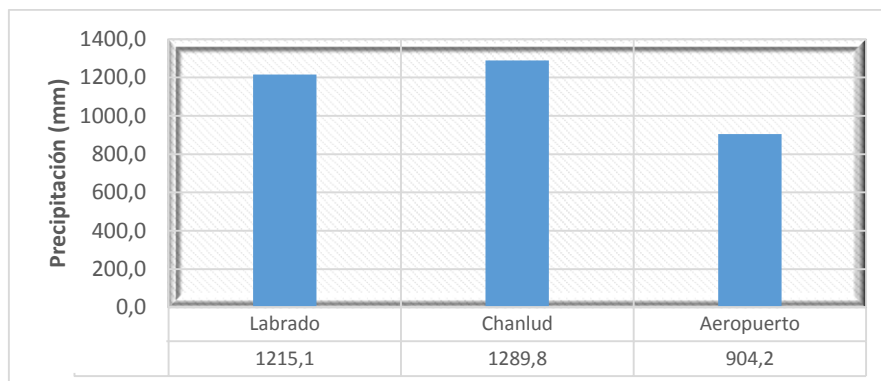
Fuente: (INAMHI, 1988-2011)

Elaborado por: Carchi E, 2015

### 2.5.1.2 Régimen de la precipitación anual

La precipitación cumple un papel fundamental en la producción agrícola, puesto que es la única fuente de ingreso del recurso hacia el suelo (FAO, 2006).

En la Figura 6 se representa la cantidad total de la precipitación anual en la cuenca del río Machángara, con los datos perteneciente al periodo de estudio 1988-2011.

**Figura 6 Precipitación Total Anual (mm)**

Fuente: (INAMHI, 1988-2011)

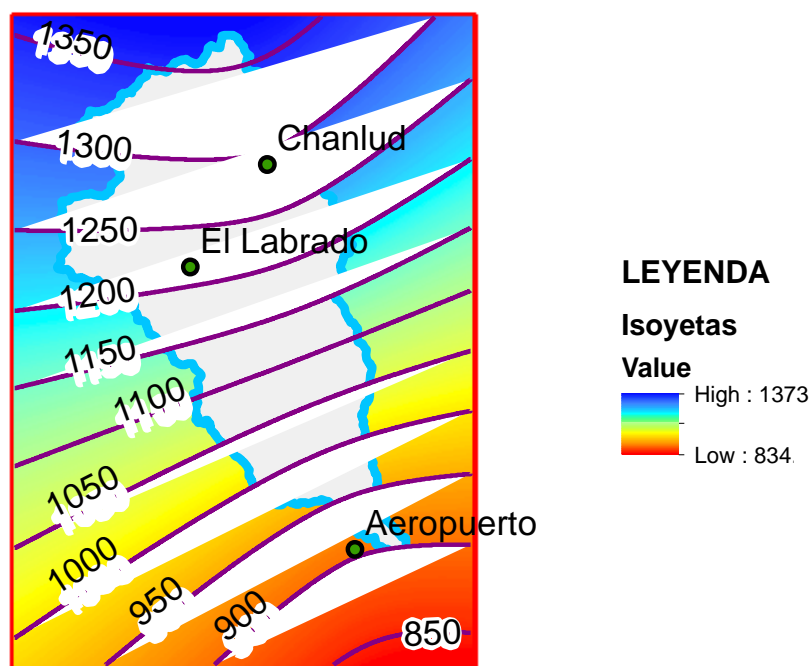
Elaborado por: Carchi E, 2015

La imagen1 presenta la distribución espacial de la precipitación anual (mapa isoyetas) de la cuenca del río Machángara, la misma que fue calculado con el software ArcGis 10.1, el procedimiento empleado es añadir información de precipitaciones de cada estación, luego nos dirigimos a la caja de herramientas seleccionamos 3D Analyst y elegimos la opción Spline, se observa que los valores de precipitación varían de 835 a 1373 mm anual.

Los valores altos se registran en la zona alta, lugar en el cual se encuentra localizado el páramo y el bosque protector Machángara, los valores menores se registran en la zona baja de la cuenca.

Si bien el volumen anual da una buena visión de la distribución de la precipitación, hay que tener en cuenta que las necesidades agrícolas dependen de la precipitación estacional, conjuntamente cabe recalcar que el número de estaciones utilizadas para este análisis es muy poco para obtener una distribución más adecuada.

**Imagen 1 Distribución Espacial de la Precipitación (mm)**

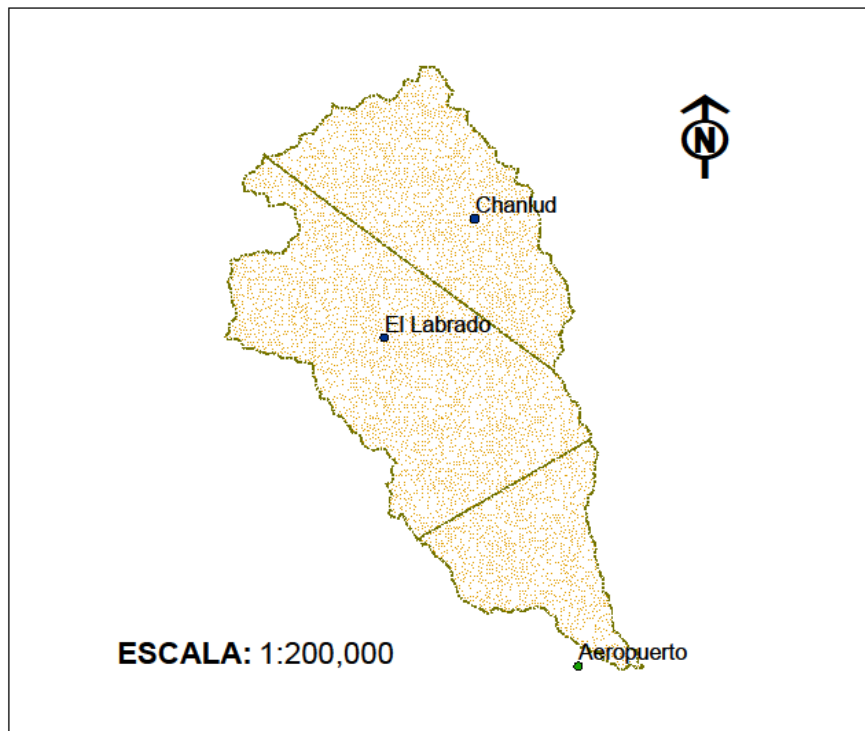


Elaborado por: Carchi E, 2015

### 2.5.2 Distribución espacial de la precipitación.

Para el estudio de la precipitación es esencial determinar las áreas efectivas de cada estación con el método de Thiessen (Chow *et al.* 1994), este método establece que en cualquier punto dentro del área creada la lluvia será igual a la que se registra en la estación más cercana. En la Figura 7 se muestra el método de Thiessen para las tres estaciones.

**Figura 7 Método de Thiessen para las tres Estaciones**



Elaborado por: Carchi E, 2015

En la figura 7 se muestra los límites del área de influencia para cada estación en la cuenca del río Machángara aplicando el principio del método de Thiessen, el procedimiento empleado es colocar las estaciones (puntos de referencia) en el mapa de la cuenca y se dibujan líneas que se conectan unas con otras formando polígonos, para el estudio se trabaja con el software ArcGis

10.1 el cual genera los polígonos con respecto a los puntos de referencia colocados, teniendo como resultado:

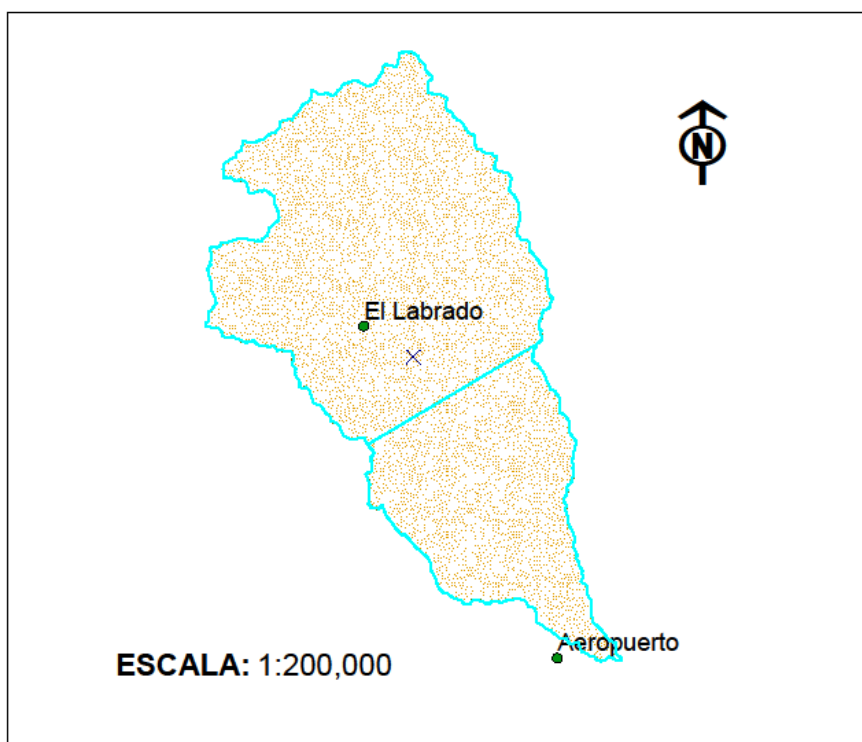
Área efectiva de la estación del Labrado: 16068 hectáreas.

Área efectiva de la estación del Aeropuerto: 5925 hectáreas.

Área efectiva de la estación Chanlud: 10552 hectáreas.

Para el presente estudio se elaboró el método de Thiessen con respecto a la estación del Labrado y estación del Aeropuerto ya que estas estaciones poseen una serie igual de datos. En la figura 8 se muestra el método de Thiessen con los límites de área efectiva para cada estación de análisis.

**Figura 8 Método de Thiessen**



Elaborado por: Carchi E, 2015

En la figura 8 se muestra los límites del área de influencia para cada estación en la cuenca del río Machángara aplicando el principio del método de Thiessen, teniendo como resultado:

Área efectiva de la estación del labrado: 26620 hectáreas.

Área efectiva de la estación del aeropuerto: 5925 hectáreas.

Los resultados de la zona alta y de la zona baja se utilizan para el cálculo de balance hídrico en el capítulo 4.

### 2.5.3 Régimen de temperatura media

Los registros de temperatura utilizados en el presente estudio, es la información recopilada del INAMHI, la temperatura oscila entre 4° C y 25° C, se le puede catalogar como un clima templado, con una temperatura media de 15°C.

En la Tabla 7 se presenta la temperatura media mensual de las estaciones meteorológicas consideradas en el presente estudio, correspondiente al periodo 1988-2011 de la estación del Aeropuerto y Labrado. La estación de Chanlud presenta datos del periodo 2000-2012 siendo insuficientes con respecto al periodo 1988-2011.

**Tabla 7 Temperatura Media Mensual °C**

Estaciones	MES												Promedio Anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Labrado (1988-2011)	9.3	9.2	9.2	9.2	8.9	8.1	7.5	7.5	8.2	9.0	9.5	9.4	8.7
Aeropuerto (1988-2011)	17.1	16.8	16.7	16.6	16.3	15.7	15.1	15.3	16.0	16.7	16.8	17.0	16.3
Chanlud (2000-2012)	8.9	8.8	8.7	8.6	8.3	7.6	7.3	7.0	7.5	8.8	9.1	9.2	8.3

Fuente: (Datos INAMHI)

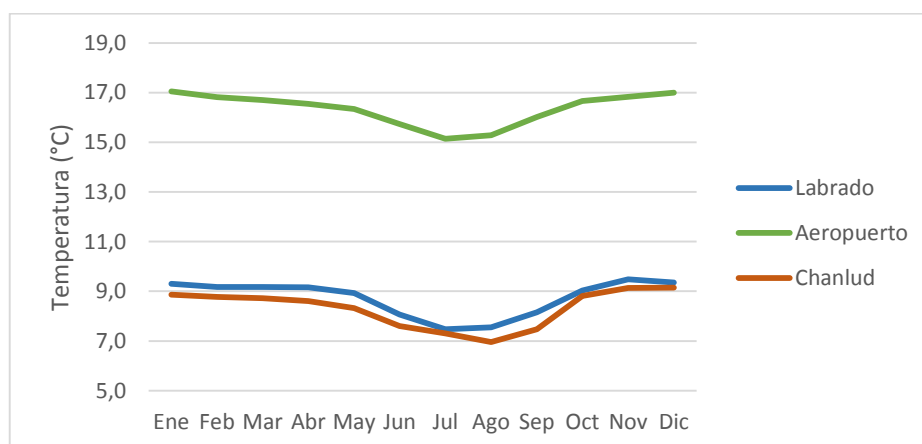
Elaborado por: Carchi E, 2015

DATOS: Aeropuerto y el Labrado (1988-2011); Chanlud (2000-2011)

En la tabla 7 se aprecia la variación de la temperatura media anual, donde la zona más fría de la cuenca es la zona de las estaciones de Chanlud y Labrado (zona alta) que registran una temperatura media anual de 8.3 y 8.7 °C respectivamente.

La región más cálida de la cuenca se encuentra en la parte baja con la estación del Aeropuerto que registra una temperatura media anual de 16.3 °C. En la Figura 9 se muestra la variabilidad de temperatura en la cuenca, esta variabilidad se da por el gradiente altitudinal y la humedad del aire los cuales son determinados por el clima local.

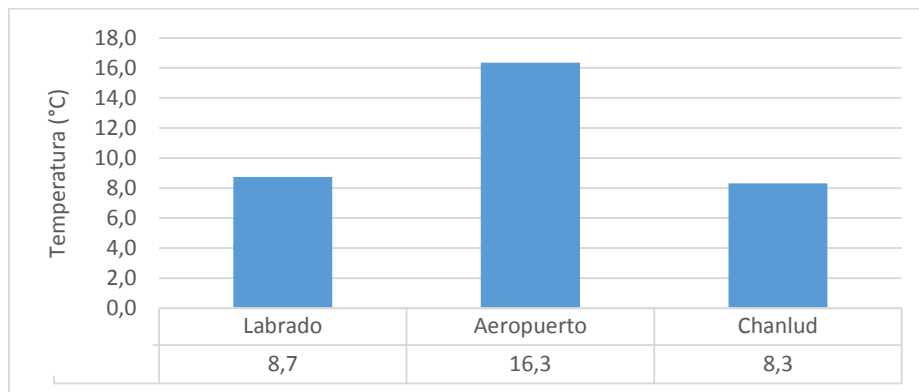
**Figura 9 Variación Mensual de Temperatura (°C)**



Fuente: (Datos INAMHI)  
Elaborado por: Carchi E, 2015  
DATOS: Aeropuerto y el Labrado (1988-2011); Chanlud (2000-2011)

La Figura 10 muestra la variación anual de la temperatura media (°C) en la cuenca del río Machángara, teniendo como resultado un valor similar en el Labrado (8.7 °C) y Chanlud (8.3°C), y obteniendo una temperatura media anual de 16.3°C en la estación del Aeropuerto.



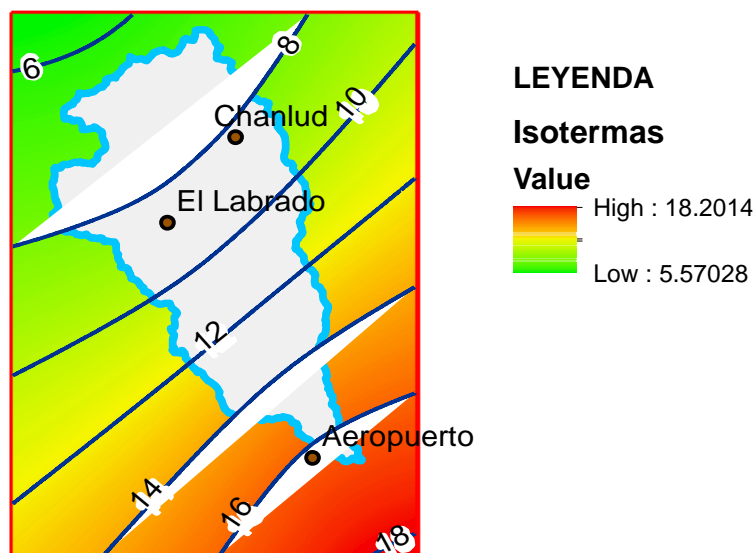
**Figura 10 Variación Anual de la Temperatura Media (°C)**

Fuente: (Datos INAMHI)

Elaborado por: Carchi E, 2015

DATOS: Aeropuerto y el Labrado (1988-2011); Chanlud (2000-2011)

En la Imagen 2 se presenta la distribución espacial de la temperatura media anual (mapa de isotermas) calculado con la herramienta ArcGis 10.1, el procedimiento empleado es añadir información de temperatura de cada estación, luego nos dirigimos a la caja de herramientas seleccionamos 3D Analyst y elegimos la opción Spline, se observa que los valores de temperatura varían de 5.57°C a 18.2°C anual.

**Imagen 2 Distribución Espacial de la Temperatura °C**

Elaborado por: Carchi E, 2015

DATOS: Aeropuerto y el Labrado (1988-2011); Chanlud (2000-2011)

### 2.5.3.1 Régimen de temperatura máxima y mínima

En la Tabla 8 se presenta la temperatura máxima y mínima mensual de las estaciones meteorológicas consideradas en el presente estudio, correspondientes al periodo 1988-2011 de la estación del Aeropuerto y el Labrado. La estación de Chanlud presenta datos del periodo 2000-2012 siendo insuficientes con respecto al periodo 1988-2011.

**Tabla 8 Temperatura Máxima y Mínima**

Estaciones	Temperatura °C											
	Ene		Feb		Mar		Abr		May		Jun	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
Aeropuerto	18.0	16.0	18.4	15.5	18.5	15.0	18.4	15.6	17.6	15.4	16.7	14.3
Chanlud	9.6	8.0	9.6	8.0	9.7	7.8	9.6	7.7	9.1	7.8	8.3	6.7
Labrado	10.6	8.5	10.1	8.3	10.5	8.1	10.8	8.5	9.9	8.0	9.2	7.1

Estaciones	Temperatura °C											
	Jul		Ago		Sep		Oct		Nov		Dic	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
Aeropuerto	16.1	14.0	16.4	13.9	17.2	14.9	18.0	15.5	17.5	16.0	18.5	16.1
Chanlud	7.8	6.6	7.5	6.5	8.0	6.5	9.7	7.9	10.0	8.4	10.0	8.5
Labrado	8.9	6.5	8.5	6.3	9.1	7.2	9.7	8.4	10.4	8.4	10.1	8.6

Fuente: (INAMHI)

Elaborado por: Carchi E, 2015

DATOS: Aeropuerto y el Labrado (1988-2011); Chanlud (2000-2011)

En la tabla 8 se observa las temperaturas máximas y mínimas mensuales, dando como resultado que las zonas de Chanlud y Labrado son áreas más frías a comparación de la estación localizada en el aeropuerto.

En la Tabla 9 se muestra el promedio anual de temperaturas máximas y mínimas de la cuenca del río Machángara, teniendo en el aeropuerto una temperatura máxima de 17.6 °C y una mínima de 15.2 °C anual, en Chanlud y

Labrado las temperaturas son similares tanto en máxima como en mínimas temperatura anual.

**Tabla 9 Temperatura Anual °C**

Estaciones	Promedio Anual	
	Temperatura °C	
	Max	Min
Aeropuerto	17.6	15.2
Chanlud	9.1	7.5
Labrado	9.8	7.8

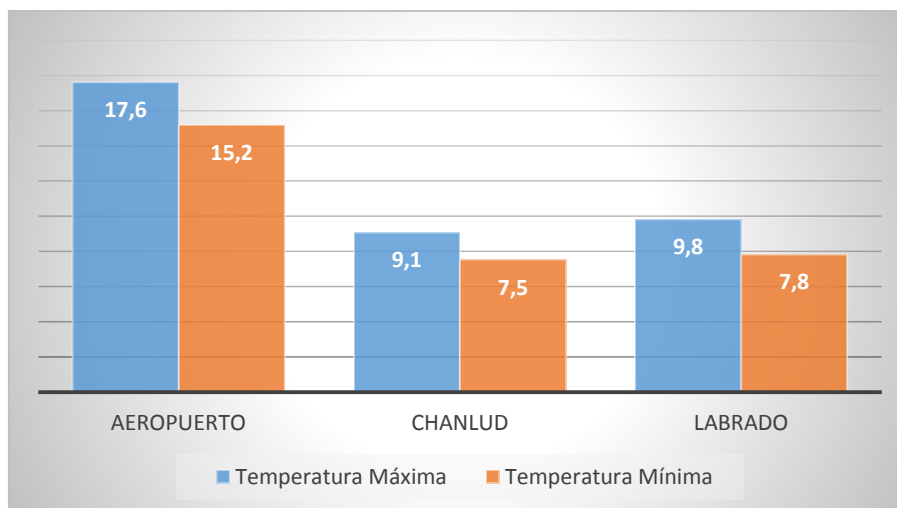
Fuente: (INAMHI)

Elaborado por: Carchi E, 2015

DATOS: Aeropuerto y el Labrado (1988-2011); Chanlud (2000-2011)

En la figura 11 se representa la variación anual de las temperaturas máximas y mínimas.

**Figura 11 Variación Anual de Temperatura °C**



Fuente: (INAMHI)

Elaborado por: Carchi E, 2015

DATOS: Aeropuerto y el Labrado (1988-2011); Chanlud (2000-2011)

## 2.6 Evapotranspiración

Para el presente estudio es necesario conocer la evapotranspiración de la cuenca, además en el análisis se utilizan datos meteorológicos de temperatura de la estación del Labrado y Aeropuerto por tener el mismo periodo de tiempo en recopilación de datos y así garantizar la obtención de buenos resultados.

### 2.6.1 Cálculo de la Evapotranspiración

En el presente estudio, para el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP) con la información climatológica disponible, se utilizó el método de Thornthwaite, basado específicamente en la temperatura media.

Se realizó el cálculo obteniendo: Tabla 10 se tiene la temperatura media de la estación de Labrado y Aeropuerto, en la tabla 11 se ve los resultados de cálculo del índice térmico, en la tabla 12 se muestra el cálculo del exponente y en la tabla 13 se presentan los resultados de ETo para cada estación analizado con el periodo de tiempo 1988-2011.

**Tabla 10 Temperatura media de las Estaciones**

Estaciones	MES												Promedio Anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Labrado	9.3	9.2	9.2	9.2	8.9	8.1	7.5	7.5	8.2	9.0	9.5	9.4	8.74
Aeropuerto	17.1	16.8	16.7	16.6	16.3	15.7	15.1	15.3	16.0	16.7	16.8	17.0	16.34

Elaborado por: Carchi E, 2015

DATOS: Aeropuerto y el Labrado (1988-2011)

**Tabla 11 Cálculo del Índice Térmico**

Estaciones	i												Índice Anual de Calor ( I )
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Labrado	2.56	2.50	2.51	2.50	2.41	2.06	1.84	1.86	2.10	2.45	2.63	2.58	28.00
Aeropuerto	6.41	6.27	6.21	6.12	6.01	5.67	5.35	5.43	5.83	6.19	6.28	6.37	72.14

Elaborado por: **Carchi E, 2015**
**DATOS: Aeropuerto y el Labrado (1988-2011)**
**Tabla 12 Cálculo del Exponente**

Estaciones	a
Labrado	0.95
Aeropuerto	1.64

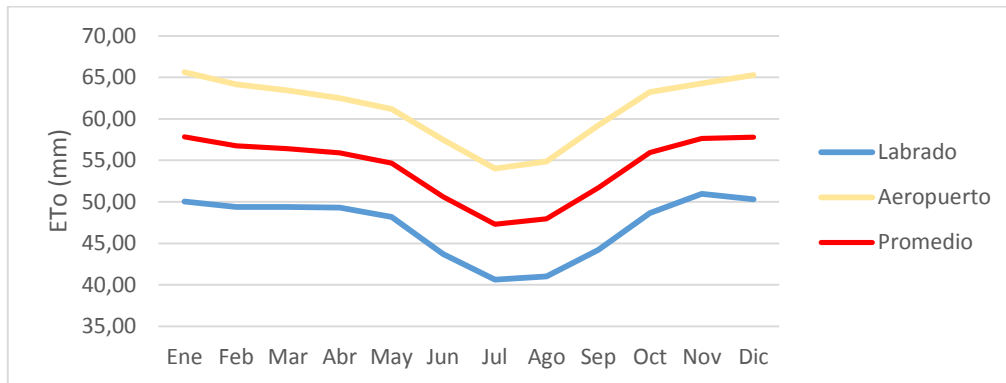
Elaborado por: **Carchi E, 2015**
**Tabla 13 Evapotranspiración de Referencia**

Estaciones	Evapotranspiración Potencial media mensual (mm)												Anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Labrado	50.03	49.37	49.39	49.30	48.17	43.69	40.63	41.02	44.20	48.66	50.98	50.32	565.77
Aeropuerto	65.63	64.17	63.44	62.51	61.20	57.50	54.00	54.88	59.21	63.23	64.27	65.27	735.32
Promedio	57.83	56.77	56.41	55.91	54.68	50.60	47.31	47.95	51.71	55.95	57.62	57.79	650.54

Elaborado por: **Carchi E, 2015**

En la Figura 12 se muestra la Evapotranspiración de referencia de las estaciones el Labrado, y Aeropuerto.

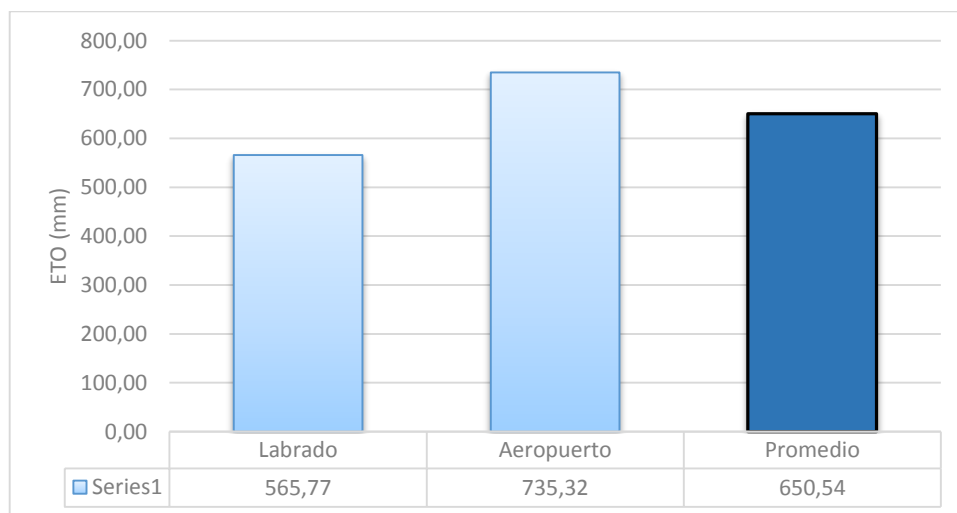
**Figura 12 Evapotranspiración de referencia mensual**



Elaborado por: Carchi E, 2015

En la figura 13 se representa la Evapotranspiración de referencia anual de la zona de estudio, obteniendo una ETo de 565.77 en la estación de Labrado y una ETo de 735.32 en la estación del Aeropuerto.

**Figura 13 Evapotranspiración de referencia Anual**



Elaborado por: Carchi E, 2015



## **CAPITULO III**

### **3. Evaluar la demanda de agua e identificación de usos que se da al recurso.**

### 3.1 Concesiones de agua

La Secretaria Nacional del Agua (SENAGUA) es el ente encargado en la gestión integral de los recursos hídricos en todo el territorio nacional, este organismo clasifica la demanda del agua según el uso que se le da al recurso y otorga una concesión con la cantidad necesaria para abastecer dicha actividad.

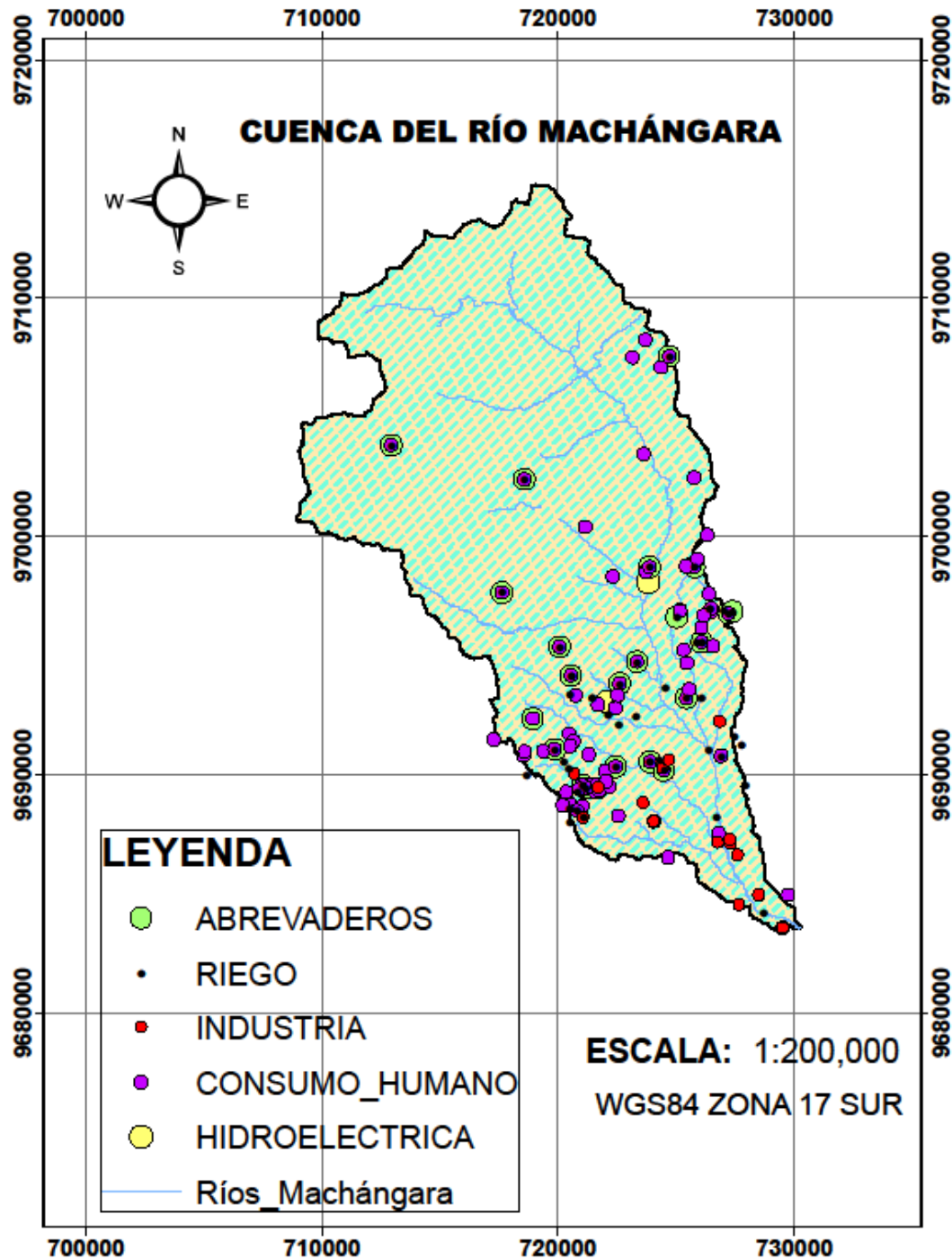
Para el presente estudio se utilizó la información del Banco Autorizaciones\_1973\_junio2014 (SENAGUA), para la obtención de concesiones se realizó un análisis y selección preliminar de datos pertenecientes a la cuenca de estudio.

En el Mapa 1 se muestra la localización de cada uso de agua dentro de la cuenca del río Machángara. Identificando los siguientes usos:

- Riego
- Piscícolas
- Industria
- Hidroeléctrica
- Consumo humano
- Abrevadero



Mapa 1 Ubicación de Usos del Agua



Fuente: Banco Autorizaciones\_1973\_junio2014 (SENAGUA)

Elaborado por: Carchi E, 2015

### 3.1.1 RIEGO

Aproximadamente 1300 ha son regadas por medio de los diferentes canales de riego que cuenta con 1900 usuarios, pertenecientes a las diferentes parroquias de estudio (dentro de la cuenca). En la Tabla 14 se muestra las concesiones asignadas para riego, identificadas dentro de la cuenca hídrica.

**Tabla 14 Concesiones Destinas para Riego**

CAUDAL(l/s)	COTA(msnm)	X	Y	NUM_PROCESO
7.680	3238	722212	9693690	16
191.770	2650	724645	9688661	228
22.0	3100	718624	9690330	326
21.007	3100	718624	9690330	326
1.540	3250	718340	9686500	433
700.000	2700	721714	9690755	524
3.870	2590	724088	9687863	590
1.965	2890	718245	9685262	888
39.600	2510	725105	9686632	981
20.000	2510	724954	9688322	981
7.000	2840	724191	9694007	1433
6.750	3080	719790	9690900	1503
11.458	2967	723282	9692650	1562
11.460	2996	723282	9692650	1562
10.350	2700	721461	9687713	1944
1.905	3070	710120	9700912	2031
7.640	2890	721080	9687620	2107
3.700	2800	721080	9687620	2240
0.400	2935	717241	9692452	2263
1.800	2810	722609	9690293	2363
0.400	2950	717689	9685078	2385
0.400	2890	717690	9685631	2404
0.100	2920	717690	9685631	2404
0.050	3235	723611	9694047	2570
0.050	3200	723611	9694047	2570
11.910	3285	721050	9695800	2851
13.150	2960	719295	9689580	3004

Fuente: Banco Autorizaciones\_1973\_ junio2014 (SENAGUA)

Elaborado por: Carchi E, 2015

Continuación de tabla anterior:

**Tabla 14 Concesiones Destinas para Riego**

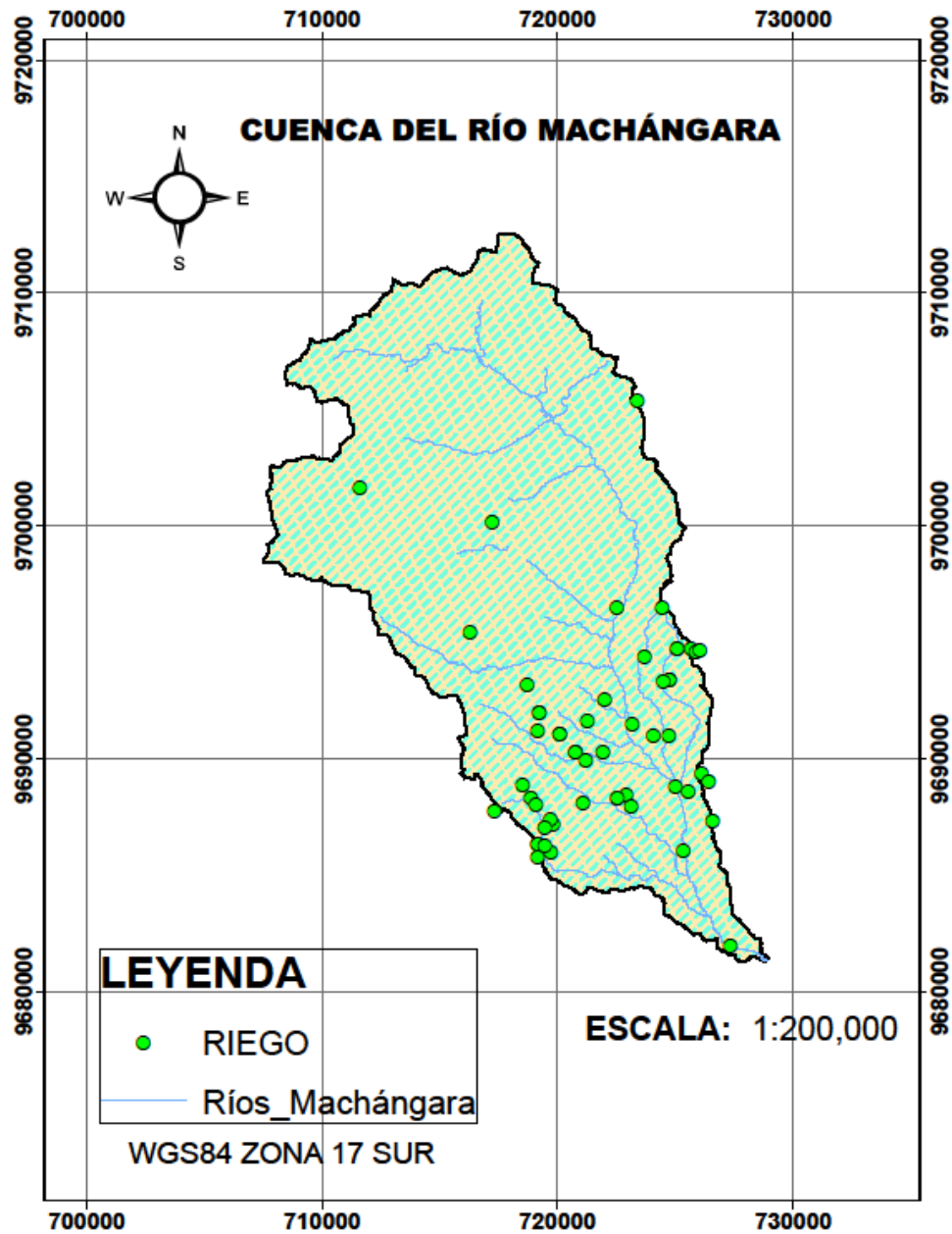
CAUDAL(l/s)	COTA(msnm)	X	Y	NUM_PROCESO
13.150	3063	719732	9689183	3004
1.800	3460	717682	9690473	3008
5.000	3530	717740	9691235	3019
2.300	3530	722970	9695790	3829
0.123	3143	718215	9686639	4871
3.000	3010	718000	9686337	4887
3.000	3600	715839	9687048	4938
13.512	3000	723258	9690291	5150
6.470	3690	721910	9704641	5380
1.319	3410	715758	9699466	5426
0.040	3080	719610	9687415	6276
0.680	2948	717998	9685569	6439
3.774	3440	717045	9688143	6691
1.300	3162	724418	9693851	6832
0.028	3060	714813	9694725	7137
11.230	2985	723031	9692628	1562
4.943	3530	717740	9691235	3019
39.6	2567	723880	9685335	981
182.390	2536	723539	9688109	228
3.910	2809	721665	9687258	7459
0.504	2855	720533	9691813	7878
0.220	2905	724573	9693942	7736
1.489	3445	717411	9687620	344
16.500	2477	725880	9681252	1548
11.150	2888	719294	9689578	3004
0.100	3367	717621	9687314	5007
0.375	2956	720474	9689542	6002
<b>1425.862</b>				

Fuente: Banco Autorizaciones\_1973\_ junio2014 (SENAGUA)

Elaborado por: Carchi E, 2015

En el Mapa 2 se muestra las concesiones de agua localizadas en la zona de estudio.

Mapa 2 Concesiones Destinadas a Riego



Fuente: Banco Autorizaciones\_1973\_junio2014 (SENAGUA)

Elaborado por: Carchi E, 2015

### 3.1.2 PISCÍCOLAS

En la Tabla 15 se muestra las concesiones destinadas para piscicultura identificadas dentro de la cuenca hídrica.

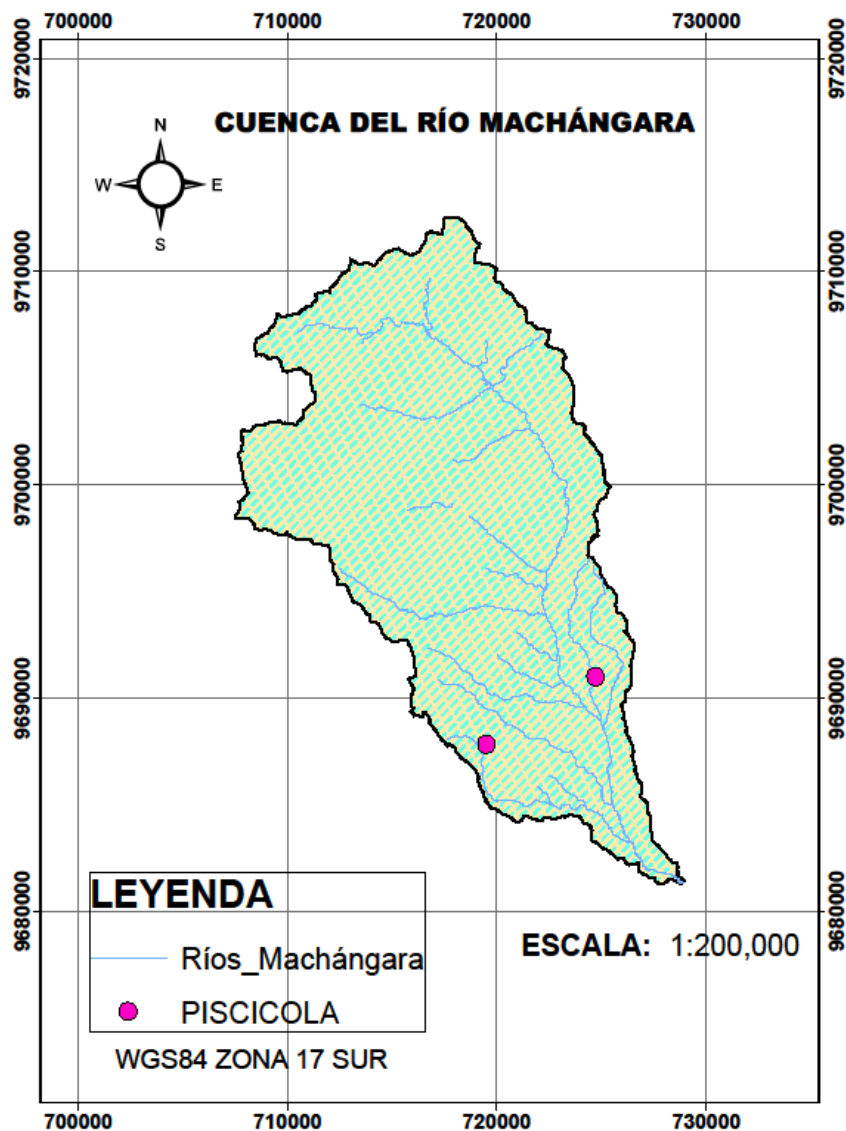
**Tabla 15 Concesiones Destinadas para Piscicultura**

CAUDAL(l/s)	COTA(msnm)	X	Y	NUM_PROCESO
20.000	3000	723258	9690291	5150
6.460	3241	718048	9687116	6843
<b>26.460</b>				

Fuente: Banco Autorizaciones\_1973\_junio2014 (SENAGUA)

Elaborado por: Carchi E, 2015

En el Mapa 3 se muestra las concesiones de agua destinadas para Piscicultura localizadas en la zona de estudio.

**Mapa 3 Concesiones Destinadas a Piscicultura**

Fuente: Banco Autorizaciones\_1973\_junio2014 (SENAGUA)

Elaborado por: Carchi E, 2015

### 3.1.3 INDUSTRIA

En la cuenca baja se encuentran localizadas empresas del parque industrial, las cuales captan el recurso hídrico para utilizarlo en sus procesos de producción. Se tiene el registro de caudales concesionados para cada uso industrial que se muestran en la Tabla 16.

**Tabla 16 Concesiones Destinadas para Industria**

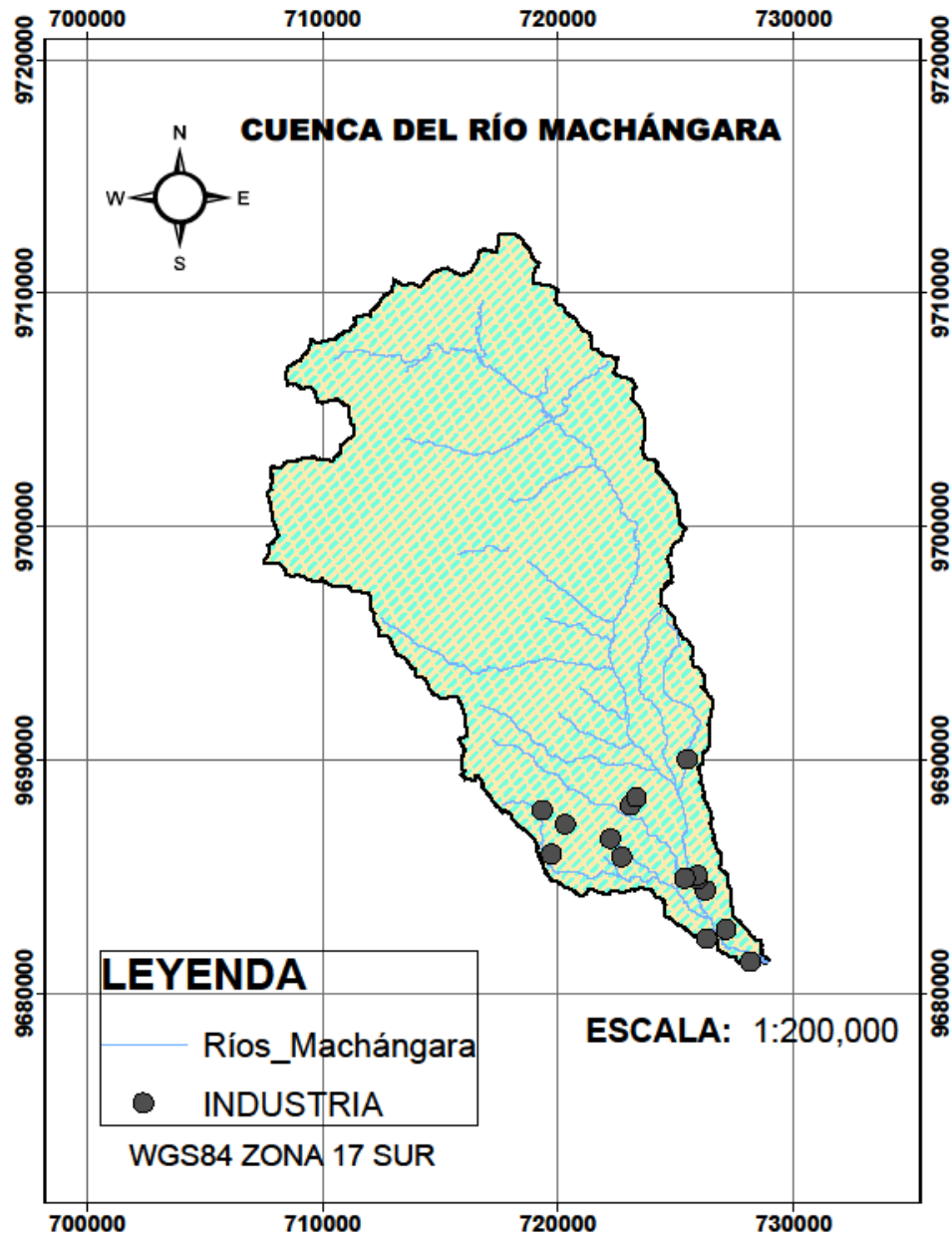
CAUDAL(l/s)	COTA(msnm)	X	Y	NUM_PROCESO
115.000	2675	721615	9687344	74
0.090	2850	721250	9685130	170
25.120	2890	718245	9685262	888
13.000	3200	720779	9685902	1048
200.000	2489	724800	9683700	1578
65.000	2500	724483	9684176	1904
78.000	2445	725684	9682023	5194
110.000	2486	725675	9682006	5464
0.120	2530	724851	9681615	5598
14.000	2592	724028	9689307	6608
0.200	2539	724465	9684345	6933
17.200	2480	726701	9680638	6967
8.000	2445	725684	9682023	5194
27.000	2675	721873	9687678	74
0.041	3345	717873	9687131	344
0.400	3069	718863	9686532	974
224.000	2640	723932	9684223	6608
<b>897.171</b>				

Fuente: Banco Autorizaciones\_1973\_ junio2014 (SENAGUA)

Elaborado por: Carchi E, 2015

En el Mapa 4 se muestra las concesiones de agua destinadas para Industria localizadas en la zona de estudio.

### Mapa 4 Concesiones Destinadas para Uso Industrial



Fuente: Banco Autorizaciones\_1973\_junio2014 (SENAGUA)

Elaborado por: Carchi E, 2015



### 3.1.4 HIDROELÉCTRICA

En la parte alta de la cuenca se encuentran funcionando las presas de El Labrado y Chanlud a cargo de ELECAUSTRO SA, las cuales suministran de energía eléctrica para las provincias de Azuay, Cañar y Morona Santiago. En la Tabla 17 se muestra las concesiones destinadas uso de generación eléctrica.

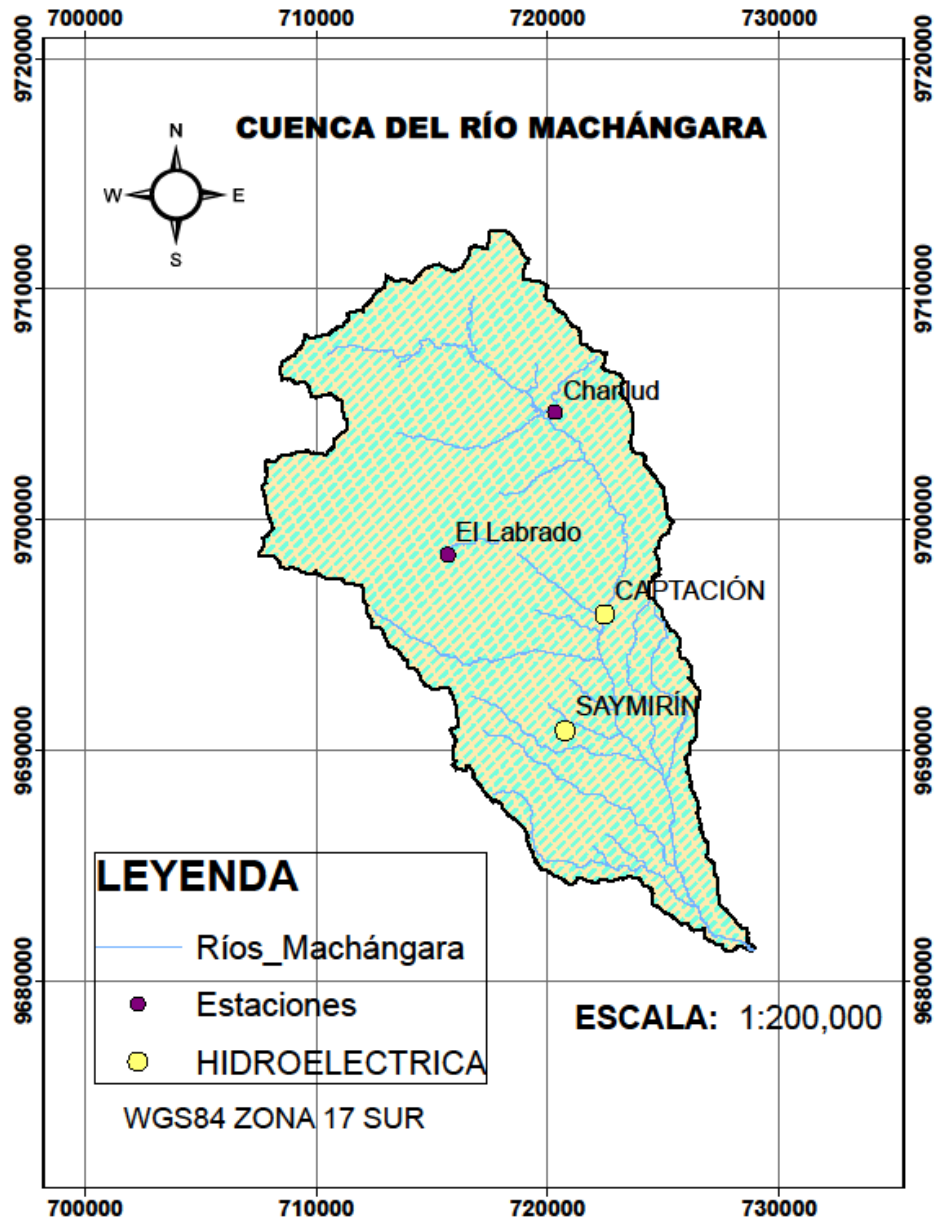
**Tabla 17 Concesiones Destinadas para Generación de Energía Eléctrica**

POT_GEN(Kw)	CAUDAL(l/s)	COTA(msnm)	X	Y	NUM_PROCESO
6500.00	4283.000	2880	721011	9695180	697
13.00	5.480	3000	719304	9690145	5671
	<b>4288.480</b>				

Fuente: Banco Autorizaciones\_1973\_junio2014 (SENAGUA)

Elaborado por: Carchi E, 2015

En el Mapa 5 se muestra las concesiones de agua destinadas para generación de energía localizadas en la zona de estudio.

**Mapa 5 Concesiones Destinadas para Generación Eléctrica**

Fuente: Banco Autorizaciones\_1973\_junio2014 (SENAGUA)

Elaborado por: Carchi E, 2015

### 3.1.5 CONSUMO HUMANO

En la Tabla 18 se muestra las concesiones destinadas para consumo humano.

**Tabla 18 Concesiones Destinadas para Consumo Humano**

POBLACION_ACTUAL	CAUDAL(l/s)	COTA(msnm)	X	Y	NUM_PROCESO
6279	12.500	3000	720900	9695610	80
19566	38.950	3251	718329	9697481	80
30	0.060	2850	721250	9685130	170
251	0.500	3250	718340	9686500	433
316	0.630	2590	724088	9687863	590
126	0.250	3400	719500	9695400	1259
10	0.020	2605	723990	9684607	1334
251	0.500	3750	714450	9688550	1428
251	0.500	2996	723282	9692650	1562
251	0.500	2845	719700	9690400	1973
8	0.015	3070	710120	9700912	2031
75	0.150	2890	721080	9687620	2107
13	0.025	2935	717241	9692452	2263
3014	6.000	3650	720350	9704600	2333
75	0.150	2810	722609	9690293	2363
45	0.090	3090	717690	9685816	2392
5023	10.000	2920	718209	9685750	2423
40	0.080	3185	718503	9686685	2587
5	0.010	3040	718728	9686370	2587
13	0.025	3015	718950	9686367	2587
20	0.040	2960	720812	9700541	2627
588	1.170	2950	717945	9690393	2780
15	0.030	3285	721050	9695800	2851
502	1.000	3030	722337	9693980	2932
35	0.070	2465	726920	9682021	2953
121	0.240	2940	718871	9690022	3023
804	1.600	2510	721856	9683596	3059
417	0.830	2510	721856	9683596	3059
753	1.500	3300	717650	9688800	3163
452	0.900	3000	723263	9693241	3319
603	1.200	3000	723263	9693241	3319
502	1.000	3647	715715	9687890	3464
201	0.400	3240	723640	9693895	3494
121	0.240	3240	723660	9694060	3494
4521	9.000	3660	720885	9705330	3600
131	0.260	2830	722740	9690650	3631
30	0.060	3530	722970	9695790	3829
1412	2.810	3660	721552	9704192	3874
7	0.014	2740	722950	9699544	3902
131	0.260	2750	719737	9685344	3925
5	0.010	3143	718215	9686639	4871

Fuente: Banco Autorizaciones\_1973\_junio2014 (SENAGUA)

Elaborado por: Carchi E, 2015

Continuación tabla anterior:

**Tabla 18 Concesiones Destinadas para Consumo Humano**

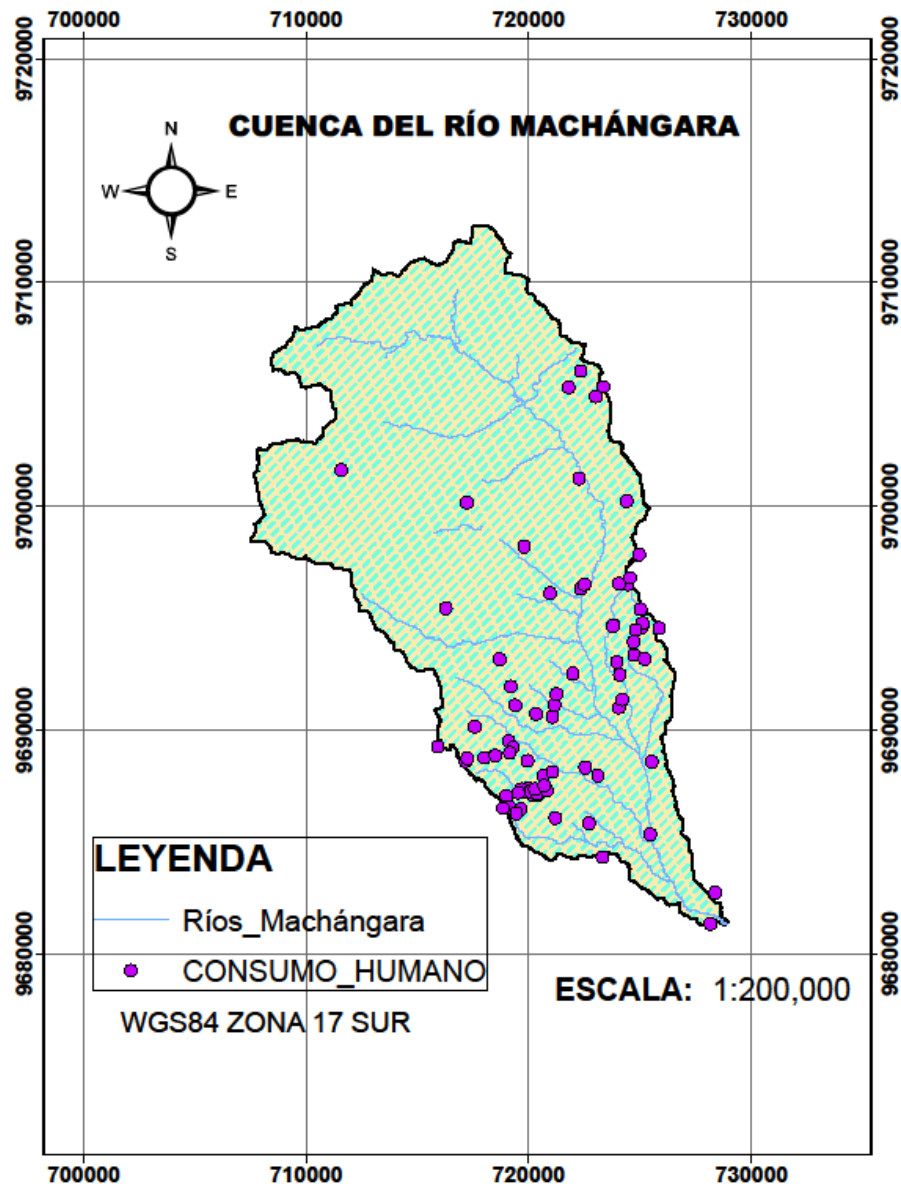
POBLACION ACTUAL	CAUDAL(l/s)	COTA(msnm)	X	Y	NUM. PROCESO
26	0.053	2980	717536	9686338	4921
121	0.240	2860	722643	9691767	5135
3	0.007	3065	718618	9686551	5380
65	0.130	2980	718927	9686428	5380
1277	2.543	3690	721910	9704641	5380
427	0.850	2850	723756	9692472	5392
35	0.070	3410	715758	9699466	5426
216	0.430	3060	717381	9685785	5542
301	0.600	3060	718091	9686475	5571
1206	2.400	3080	719790	9690900	5650
100	0.200	3260	717849	9688488	5891
151	0.300	3260	717694	9688273	5891
477	0.950	3594	716550	9688050	5905
884	1.760	3428	723093	9696106	5926
4521	9.000	2790	719612	9689868	6027
122	0.243	3050	719200	9687250	6121
136	0.270	3200	719200	9687250	6121
145	0.288	3200	719200	9687250	6121
172	0.342	3050	719200	9687250	6121
127	0.252	3200	719200	9687250	6121
40	0.080	3080	719610	9687415	6276
263	0.524	3410	716110	9689436	6413
5	0.010	2948	717998	9685569	6439
1351	2.690	3440	722605	9695830	6557
256	0.510	3440	717045	9688143	6691
121	0.240	3100	718834	9686643	6693
73	0.146	3162	724418	9693851	6832
404	0.805	2480	726701	9680638	6967
5	0.010	3060	714813	9694725	7137
12	0.300	3530	717740	9691235	3019
	0.070	2809	721665	9687258	7459
12	0.020	2995	720533	9691813	7879
5	0.010	2855	720533	9691813	7878
30	0.060	3011	719377	9686583	170
5	0.010	3691	715775	9688033	344
1030	2.060	3323	723584	9694688	1567
80	0.110	3056	719231	9686805	1806
300	2.850	2964	722496	9692317	1974
150	0.190	2934	723514	9697151	2548
2000	15.660	3268	722338	9693948	6644
3000	3.880	3164	723354	9693758	6644
230	0.700	3350	718485	9687913	2503
	<b>145.451</b>				

Fuente: Banco Autorizaciones\_1973\_ junio2014 (SENAGUA)

Elaborado por: Carchi E, 2015

En el Mapa 6 se muestra las concesiones de agua destinadas para consumo humano localizadas en la zona de estudio.

**Mapa 6 Concesiones Destinadas para Consumo Humano**



Fuente: Banco Autorizaciones\_1973\_ junio2014 (SENAGUA)

Elaborado por: Carchi E, 2015

### 3.1.6 ABREVADERO

En la Tabla 19 se muestra las concesiones destinadas para abrevaderos.

**Tabla 19 Concesiones Destinadas para Abrevaderos**

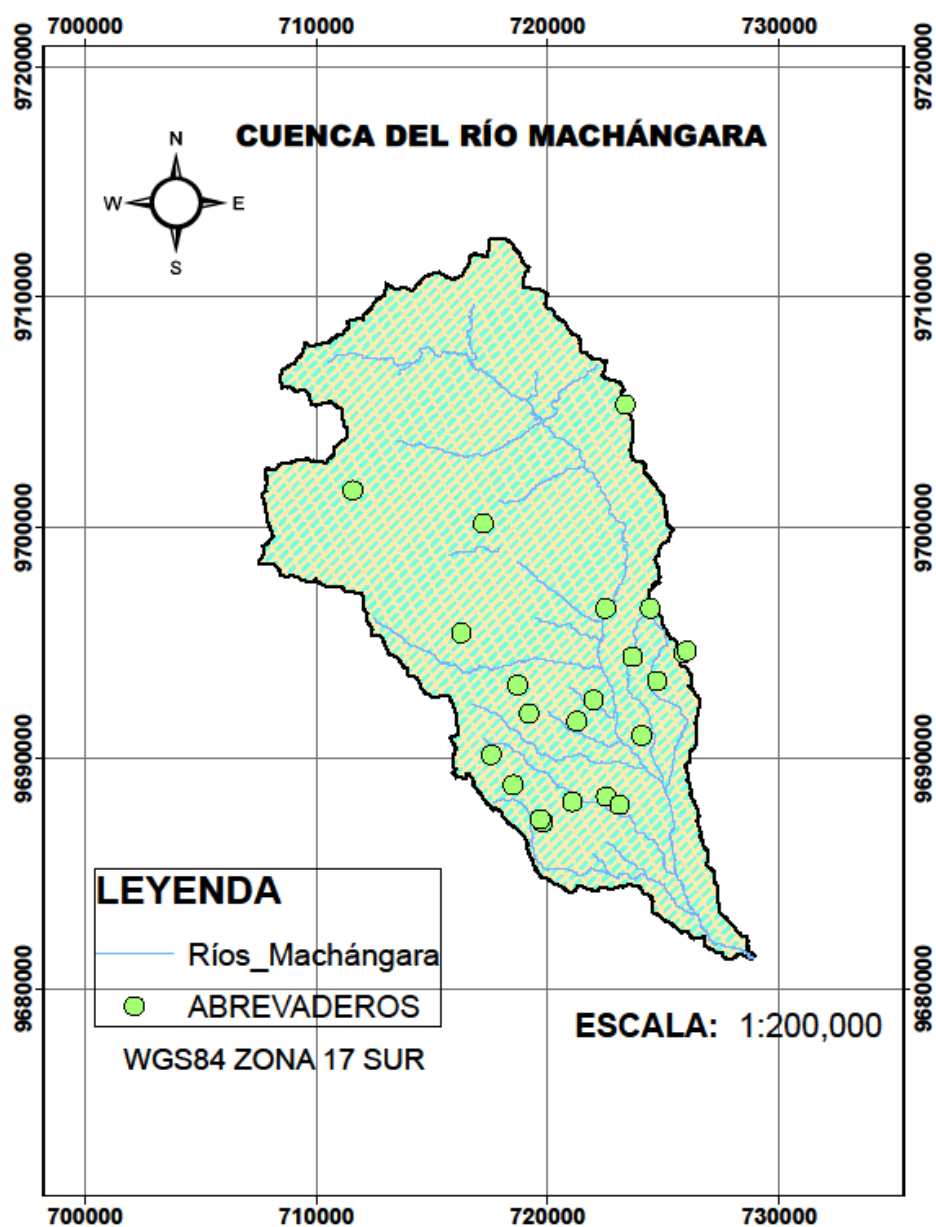
CAUDAL(l/s)	COTA(msnm)	X	Y	NUM_PROCESO
0.280	3238	722212	9693690	16
0.380	3250	718340	9686500	433
0.250	3080	719790	9690900	1503
0.042	2967	723282	9692650	1562
0.040	2996	723282	9692650	1562
0.080	3070	710120	9700912	2031
0.210	2890	721080	9687620	2107
0.020	2935	717241	9692452	2263
0.050	2810	722609	9690293	2363
0.060	3285	721050	9695800	2851
0.100	3530	722970	9695790	3829
0.002	3143	718215	9686639	4871
0.779	3690	721910	9704641	5380
0.027	3410	715758	9699466	5426
0.010	3080	719610	9687415	6276
0.080	3410	716110	9689436	6413
0.116	3440	717045	9688143	6691
0.028	3162	724418	9693851	6832
0.002	3060	714813	9694725	7137
0.027	3530	717740	9691235	3019
0.016	2809	721665	9687258	7459
0.020	2995	720533	9691813	7879
0.014	2855	720533	9691813	7878
0.012	2905	724573	9693942	7736
<b>2.645</b>				

Fuente: Banco Autorizaciones\_1973\_junio2014 (SENAGUA)

Elaborado por: Carchi E, 2015

En el Mapa 7 se muestra las concesiones de agua destinadas para abrevaderos localizadas en la zona de estudio.

### Mapa 7 Concesiones Destinadas para Abrevaderos



Fuente: Banco Autorizaciones\_1973\_junio2014 (SENAGUA)

Elaborado por: Carchi E, 2015

### 3.2 CONSUMO MENSUAL TOTAL

El consumo total de los diferentes usos del agua es de 17,5895 hm<sup>3</sup>/mes, este caudal es el concesionado por SENAGUA para la cuenca del río Machángara. En la Tabla 20 se muestra el total de concesiones de agua.

**Tabla 20 Concesión Total de Agua para la Cuenca del Río Machángara**

	Q AUTORIZADO		Q AUTORIZADO	
Consumo Humano	145.4512	→	0.3770	
Hidroeléctrica	4288.480	→	11.1157	
Riego	1425.8618	→	3.6958	
Industria	897.171	→	2.3255	
Abrevadero	2.6452	→	0.0069	
Piscícola	26.460	→	0.0686	
TOTAL =	<b>6786.0692</b>	L/s	17.5895	hm <sup>3</sup> /mes

Fuente: Banco Autorizaciones\_1973\_junio2014 (SENAGUA)

Elaborado por: Carchi E, 2015

El caudal autorizado por la Secretaría Nacional del Agua se encuentra analizado para proveer el recurso a diferentes usos que se dan en la cuenca, teniendo como resultado que la generación de energía eléctrica utiliza gran cantidad de recurso hídrico para su funcionamiento pero al ser un uso no consuntivo esta agua utilizada es devuelta a su cauce natural, posteriormente se encuentra el riego, uso industrial y consumo humano que utilizan 3.695 hm<sup>3</sup> de agua/mes, 2.32 hm<sup>3</sup> de agua/mes y 0.377 hm<sup>3</sup> de agua/mes respectivamente.

Las necesidades hídricas de la cuenca del río Machángara pueden ser cambiantes con el tiempo, esto podría deberse al incremento de necesidades futuras y aumento o disminución de los usos del agua.





## **CAPITULO IV**

### **4. Balance hídrico de la Cuenca del Río Machángara.**

## 4.1 Generalidades

El balance hídrico es la relación entre la oferta y demanda hídrica de la cuenca, esta relación permite conocer la existencia de déficit o exceso del recurso hídrico.

## 4.2 Disponibilidad del recurso hídrico

El agua disponible en la cuenca se estima como la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración. Este balance es positivo cuando la precipitación media es superior a la evapotranspiración. Un valor negativo (déficit) es indicativo de que existe escasez del recurso.

En la Tabla 21 se presenta los valores medios mensuales de déficit o superávit expresados en mm de agua presentes en la cuenca alta y baja del río Machángara.

**Tabla 21 Déficit / Superávit de Agua**

	Déficit o Superávit de agua (mm)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Cuenca Alta	42.67	65.03	82.01	95.1	65.73	54.51	48.97	24.58	27.8	46.14	50.42	46.38
Cuenca Baja	-7.93	30.53	55.66	65.79	20.4	-3.5	-24.6	-37.08	-5.81	22.87	26.13	26.43

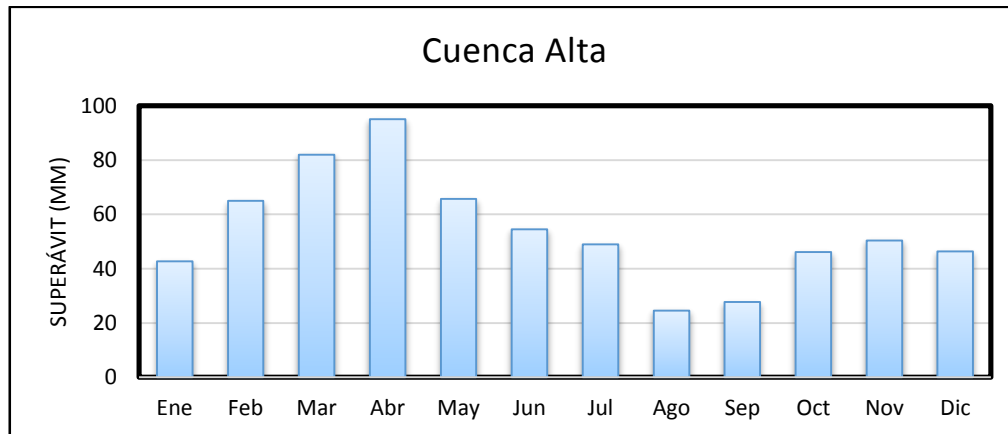
Elaborado por: Carchi E, 2015

### Cuenca Alta

- La cuenca alta presenta un superávit en todos los meses con un rango de +25 mm y +95mm, estos resultados indican que al ser una zona de gran humedad por la existencia de precipitaciones constantes se está generando condiciones atmosféricas que disminuyen la evaporación del recurso y por ende la acumulación del agua. En la figura 15 se muestra la

representación gráfica de los resultados obtenidos de déficit o superávit mensual de la cuenca alta.

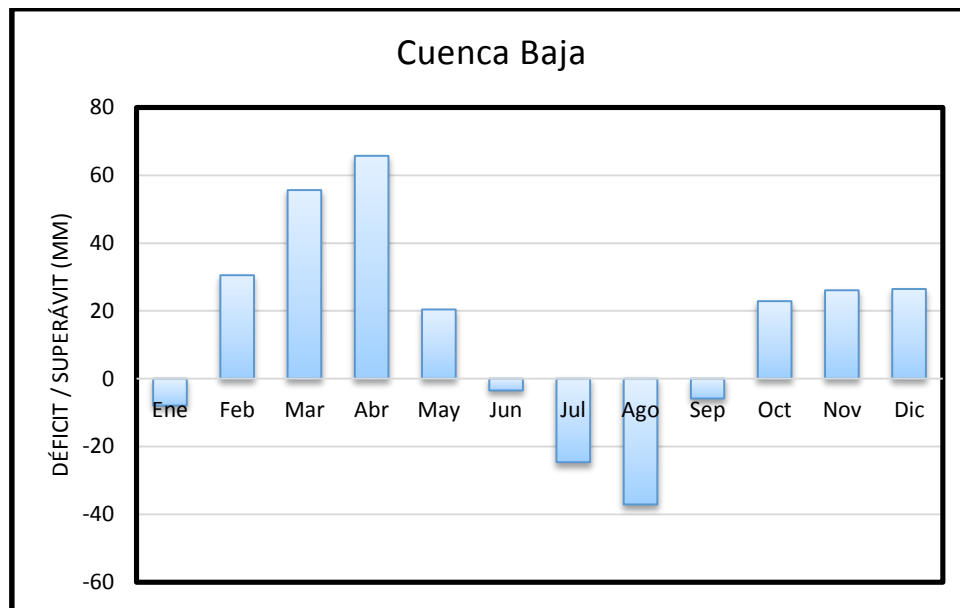
**Figura 14 Superávit (mm)**



Elaborado por: Carchi E, 2015

### Cuenca Baja

- En la cuenca baja se presenta un déficit de agua correspondiente al periodo entre junio hasta septiembre y el mes de enero correspondientes a las épocas de estiaje, mientras que los otros meses poseen un superávit por ser épocas de lluvias. En la figura 16 se muestra la representación gráfica de los resultados obtenidos de déficit o superávit mensual de la cuenca baja.

**Figura 15 Déficit / Superávit (mm)**


Elaborado por: Carchi E, 2015

En la tabla 22 se muestra el cálculo realizado para la obtención de la disponibilidad hídrica que es igual a la precipitación menos la evapotranspiración, los datos se presentan en hm<sup>3</sup>.

**Tabla 22 Disponibilidad de Agua (hm3)**

Cuenca Alta:		hm3											
Componente	Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Oferta hídrica	Precipitación	24.7	30.5	35.0	38.4	30.3	26.1	23.9	17.5	19.2	25.2	27.0	25.7
	Evapotranspiración	13.3	13.1	13.1	13.1	12.8	11.6	10.8	10.9	11.8	13.0	13.6	13.4
	Disponibilidad de Agua	11.4	17.3	21.8	25.3	17.5	14.5	13.0	6.5	7.4	12.3	13.4	12.3

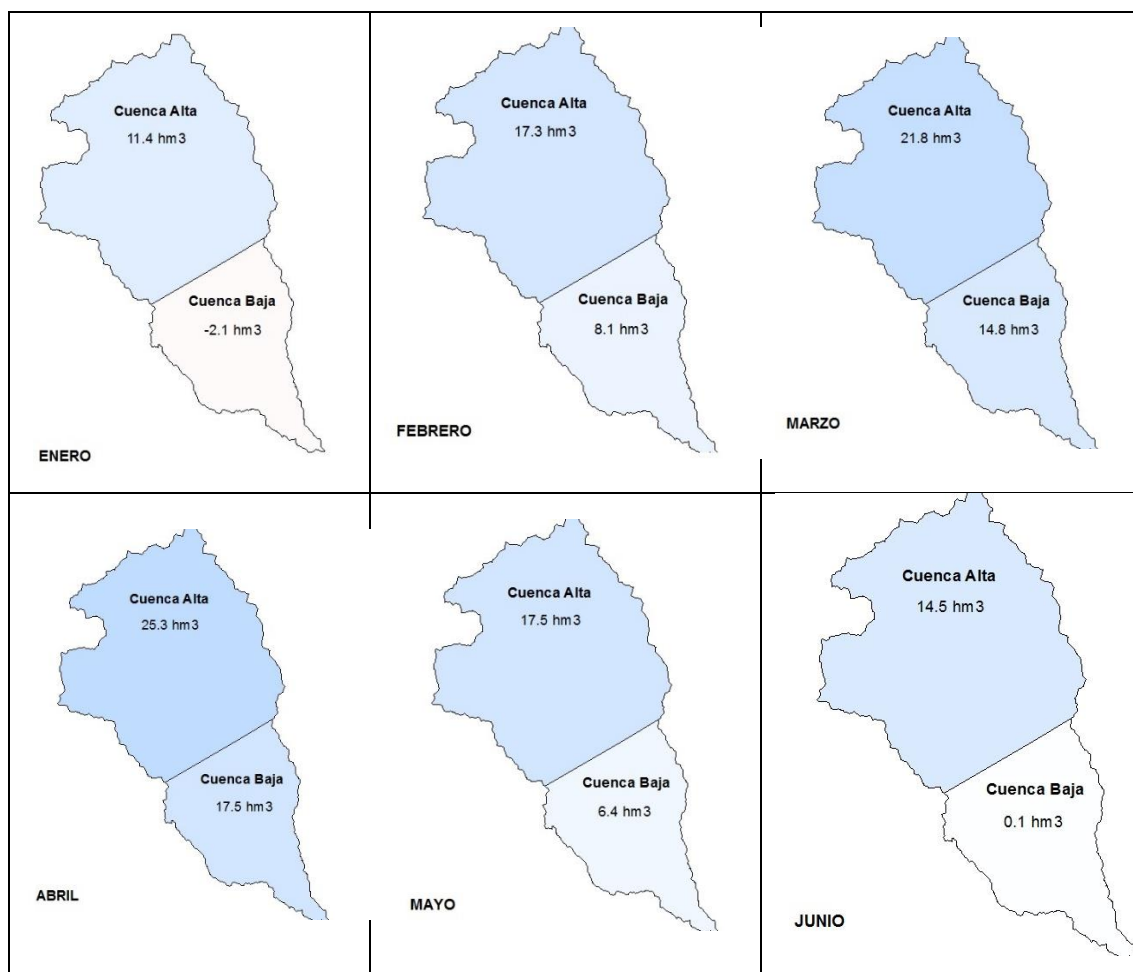
  

Cuenca Baja:		hm3											
Componente	Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Oferta Hídrica	Precipitación	15.4	25.2	31.7	34.2	22.7	15.4	7.8	4.7	14.2	22.9	24.1	24.4
	Evapotranspiración	17.5	17.1	16.9	16.6	16.3	15.3	14.4	14.6	15.8	16.6	17.1	17.4
	Disponibilidad de Agua	-2.1	8.1	14.8	17.5	6.4	0.1	-6.5	-9.9	-1.5	6.3	7.0	7.0

Elaborado por: Carchi E, 2015

La Gráfica 6 muestra la representación de la cuenca del río Machángara clasificada como cuenca alta y baja, en la cual se representa la disponibilidad hídrica existente para cada mes.

**Gráfica 6 Disponibilidad de agua**

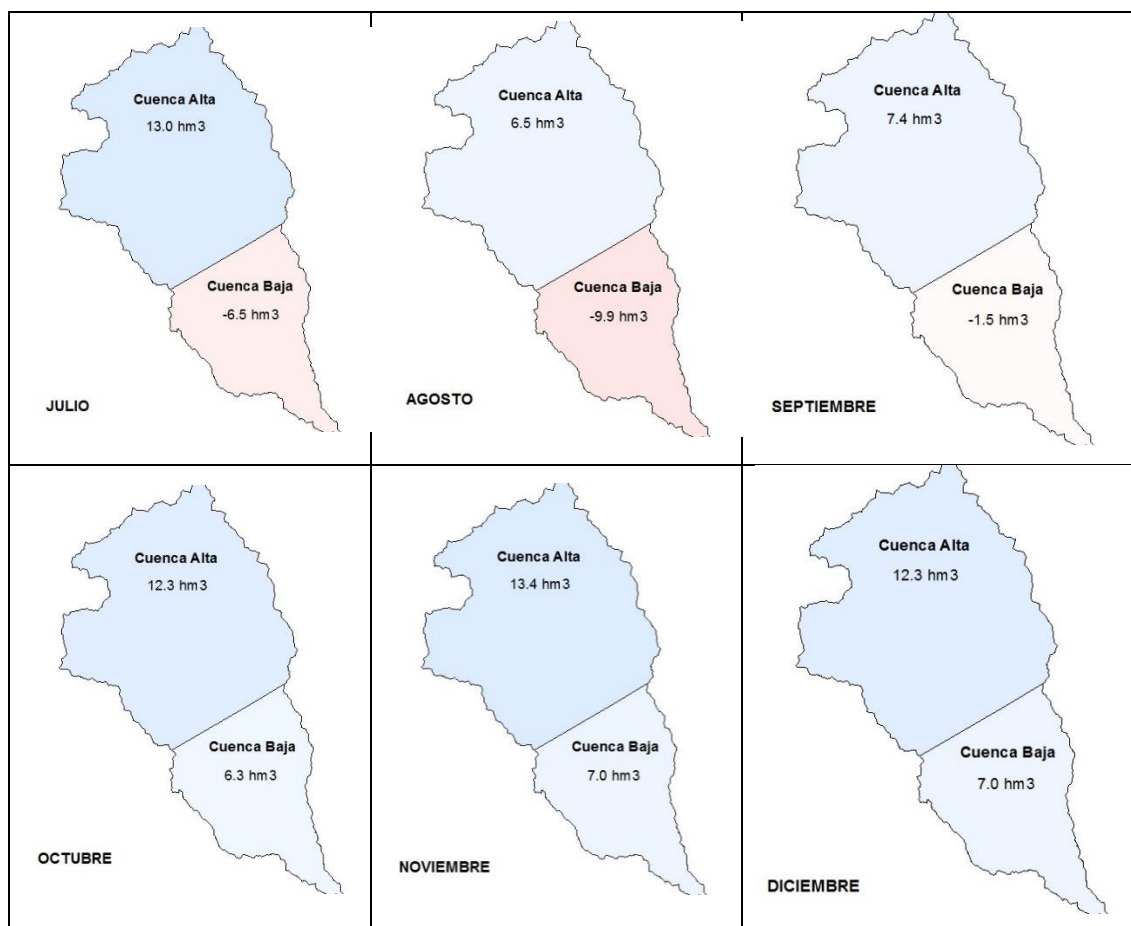


- Las tonalidades más oscuras en color azul representan mayor superávit hídrico.
- Las tonalidades más oscuras en color rojo representan mayor déficit hídrico.
- Las tonalidades claras (blancas) representan una estabilidad hídrica.

Fuente: (INAMHI)  
Elaborado por: Carchi E, 2015

Continuación de grafica anterior:

Gráfica 6 Disponibilidad de agua



- Las tonalidades más oscuras en color azul representan mayor superávit hídrico.
- Las tonalidades más oscuras en color rojo representan mayor déficit hídrico.
- Las tonalidades claras (blancas) representan una estabilidad hídrica.

Fuente: (INAMHI)  
Elaborado por: Carchi E, 2015

#### 4.3 Ecuación y Componentes del Balance Hídrico incluida la demanda antrópica.

La ecuación general de balance hídrico incluida la demanda antrópica se describe como: Cantidad de agua (Superávit o Déficit)= Disponibilidad de agua – Demanda de agua.

- **Disponibilidad de agua:** diferencia entre la Precipitación y la Evapotranspiración, es decir, cantidad de agua que existe en la cuenca después de cruzar los factores naturales. La disponibilidad de agua se obtuvo en el punto 4.2, tabla 21 y detallado como cuenca alta y cuenca baja.
- **Demanda hídrica:** requerimiento de los usuarios para satisfacer las necesidades, además se debe tener la información de usos actuales como: agrícola, consumo humano, industria, piscicultura, abrevaderos, generación hidroeléctrica y entre otros usos. Las demandas hídricas se obtuvieron en el Capítulo 3 con el estudio de concesiones de agua, clasificadas como usos consuntivos y no consuntivos.

En el presente estudio, el balance hídrico se realizó para situación actual de la cuenca, es decir no se consideró ninguna proyección futura. Una vez definida la disponibilidad hídrica y la demanda hídrica se realizó el balance hídrico a nivel mensual.

Con la información de disponibilidad hídrica y demanda de agua determinada, se realiza el balance hídrico mensual a nivel de la zona alta y baja de la cuenca de estudio. En adelante se muestran los correspondientes cuadros de análisis, donde los excesos de agua se presentan con signo (+) y los déficit de agua con signo (-), respectivamente.

Los resultados del balance hídrico con demandas actuales de agua se presentan a continuación:

- **Cuenca del río Machángara (zona alta)**

En la Tabla 23 se realizó el balance hídrico mensual para la zona alta, cuyo resultado muestra que para los meses de enero a julio y de octubre a diciembre la demanda se satisface al 100%, al contrario los meses que presentan un déficit de agua son agosto y septiembre sin poder así satisfacer las necesidades hídricas de la zona alta de la cuenca del río Machángara.

Los meses con mayor superávit son: febrero, marzo, abril, mayo, presentando el mes de abril la mayor disponibilidad de recurso.

En la Figura 17 se muestra la comparación grafica entre la disponibilidad de agua y la demanda hídrica correspondiente. La demanda hídrica es constante para todos los meses debido a que el estudio es analizado por las concesiones asignadas teniendo un valor estable para todos los meses.



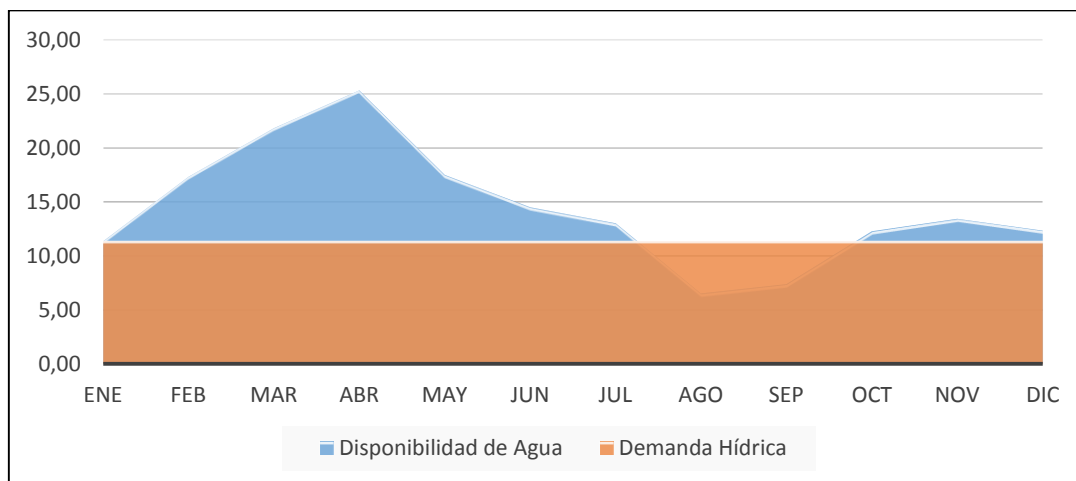


Tabla 23 Cálculo de Balance Hídrico (zona alta)

		Volumen de agua mensual en hm3													
Componente	Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	
Oferta Hídrica	Disponibilidad de Agua	11.36	17.31	21.83	25.32	17.50	14.51	13.04	6.54	7.40	12.28	13.42	12.35	172.85	
Demanda Hídrica	<b>Uso consuntivo</b>														
	Consumo Humano	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	2.25	
	Riego	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.67	
	Industria	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Abrevadero	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.03	
	Total	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	2.96	
	<b>Uso no consuntivo</b>														
	Hidroeléctrica	11.12	11.12	11.12	11.12	11.12	11.12	11.12	11.12	11.12	11.12	11.12	11.12	133.39	
	Piscícola	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	<b>Total</b>	<b>11.36</b>	<b>11.36</b>	<b>11.36</b>	<b>11.36</b>	<b>11.36</b>	<b>11.36</b>	<b>11.36</b>	<b>11.36</b>	<b>11.36</b>	<b>11.36</b>	<b>11.36</b>	<b>11.36</b>	<b>136.34</b>	
<b>Balance Hídrico</b>	Superávit (+)	0.00	5.95	10.47	13.95	6.14	3.15	1.67	-	-	0.92	2.06	0.98	36.51	
		-	34%	48%	55%	35%	22%	13%	-	-	7%	15%	8%	21%	
	Déficit (-)	-	-	-	-	-	-	-	-4.82	-3.96	-	-	-	-	
		-	-	-	-	-	-	-	74%	54%	-	-	-	-	

Elaborado por: Carchi E, 2015

**Figura 16 Comparación entre disponibilidad de agua vs demanda hídrica de la zona alta (hm<sup>3</sup>)**



Elaborado por: Carchi E, 2015

- **Cuenca del río Machángara (zona baja)**

En la Tabla 24 se realiza el balance hídrico mensual para la zona baja, cuyo resultado muestra que hay déficit del recurso hídrico en el mes de enero y de junio a septiembre con falta de recurso, además el mes de octubre presenta datos bajos de superávit con tendencia de presentar un déficit del recurso.

Figura 18 se muestra la comparación grafica entre la disponibilidad de agua y la demanda hídrica correspondiente a la zona baja de la cuenca. Los meses con mayor superávit son: febrero, marzo, abril, presentando el mes de abril la mayor disponibilidad de recurso.

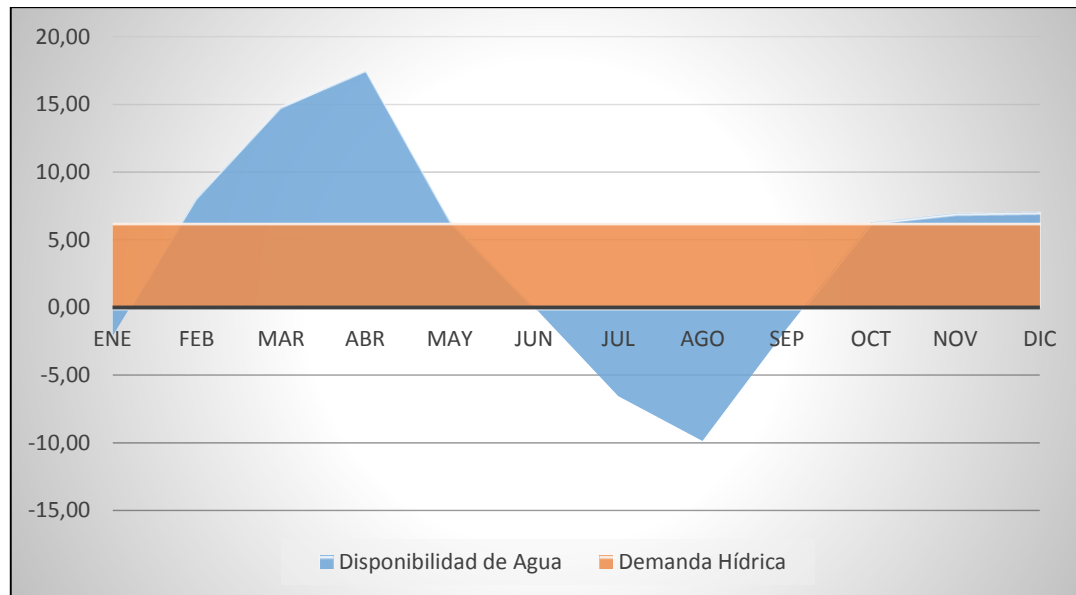


**Tabla 24 Cálculo de Balance Hídrico (zona baja)**

Componente	Variable	Volumen de agua mensual en hm3												Total
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Oferta Hídrica	Disponibilidad de Agua	-2.11	8.13	14.82	17.51	6.43	0.07	-6.55	-9.87	-1.55	6.29	6.96	7.04	47.16
Demanda Hídrica	<b>Uso consuntivo</b>													
	Consumo Humano	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	2.28
	Riego	3.64	3.64	3.64	3.64	3.64	3.64	3.64	3.64	3.64	3.64	3.64	3.64	43.68
	Industria	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33	27.96
	Abrevadero	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.05
	<b>Total</b>	6.16	6.16	6.16	6.16	6.16	6.16	6.16	6.16	6.16	6.16	6.16	6.16	73.97
	<b>Uso no consuntivo</b>													
	Hidroeléctrica	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Piscícola	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.84
	<b>Total</b>	6.23	6.23	6.23	6.23	6.23	6.23	6.23	6.23	6.23	6.23	6.23	6.23	74.81
<b>Balance Hídrico</b>	Superávit (+)	-	1.89	8.58	11.28	0.20	-	-	-	-	0.05	0.72	0.80	23.53
		-	23.00%	58.00%	64.00%	3%	-	-	-	-	1%	10%	11%	51%
	Déficit (-)	-8.34	-	-	-	-	-6.17	-12.78	-16.10	-7.78	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Elaborado por: Carchi E, 2015

**Figura 17 Comparación entre disponibilidad de agua vs demanda hídrica de la zona baja (hm<sup>3</sup>)**



Elaborado por: Carchi E, 2015

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La disponibilidad hídrica de la cuenca del río Machángara según el análisis de precipitaciones y evapotranspiración demuestran que existen intervalos de tiempo donde el recurso hídrico es insuficiente para satisfacer las necesidades y usos que se dan en la cuenca de estudio, en zonas altas se ve un déficit del recurso, de igual manera en zonas bajas ya sea esto por inexistencia de lluvias o por un valor alto de la demanda de agua de los diferentes usos, existe un déficit mayor que podría traer consecuencias futuras por la falta del recurso hídrico.

En este análisis se utiliza la evapotranspiración de referencia ( $ETo$ ), por lo tanto los resultados de los balances estarían de lado de la seguridad porque se trabaja con valores máximos de evapotranspiración por cada mes, es decir, los valores de disponibilidad de agua en la cuenca también serían máximos.

Con el análisis de balance hídrico se obtiene: en la cuenca alta todos los meses la demanda se satisface al 100% a excepción de los meses agosto y septiembre que presentan un déficit del recurso, en la cuenca baja se muestra que hay déficit del recurso hídrico en los meses de enero, junio, julio, agosto y septiembre, conjuntamente en el mes de mayo y octubre se presenta datos bajos de superávit con tendencia de mostrar un déficit del recurso, los meses restantes satisfacen al 100% las necesidades del recurso.

La cuenca alta y baja presentan periodos de déficit de recurso, que podría en un futuro tener una demanda mayor del agua debido a factores climáticos, aumento de población, crecimiento de usos industriales, riego, etc.



Además, hay que tener presente que los cálculos de precipitación, evapotranspiración y por ende de los balances hídricos se realizó con la cantidad de información disponible, en donde se podría considerar que en este estudio se utilizó escasa información, obteniendo un balance hídrico aproximado que puede ser un indicador inicial de la cantidad de agua mensual (exceso o déficit) que tiene la cuenca del río Machángara.

## RECOMENDACIONES

El presente estudio plantea una metodología que podría aplicarse en cualquier cuenca hidrográfica y según la cantidad de información disponible realizar balances hídricos más precisos.

Se recomienda utilizar la mayor cantidad de datos cada año para garantizar que los resultados sean los más exactos posibles, además permite interpretar de una forma clara el comportamiento de las variables climatológicas y como estas inciden en el balance hídrico en el periodo de estudio.

Es recomendable utilizar métodos de cálculo que abarquen el mayor número de parámetros climáticos, es por esto que la instalación de un mayor número de estaciones para monitorear varias variables climáticas serian acciones futuras que pueden ayudar para que los balances hídricos sean más precisos.

Los resultados de evapotranspiración calculados con el método de Thornthwaite basado específicamente en la temperatura media se recomiendan usar en casos de no disponer con la cantidad suficiente de información climatológica, por tal motivo se debe utilizar con precaución dado que sobrestima la misma, esto concuerda con lo hallado por Contreras 2015, en zonas de páramos donde no se dispone de datos como radiación solar, humedad relativa y velocidad del viento es recomendable utilizar métodos que se ajusten a la cuenca de estudio.

Se recomienda generar estudios para la gestión y planificación integrar del recurso, implementando un análisis para almacenamiento de agua cuando exista mayor cantidad, garantizando la distribución y brindando el recurso en épocas de déficit.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Amazónica-Ecuatoriano-Colombiana, C. M. (1987). *Plan de Ordenamiento y Manejo de las Cuencas de los Ríos San Miguel y Putumayo*. Washington, D.C. URL: <http://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea32s/ch13.htm>
2. Bravo, A. S. (2006). *Agua: un recurso escaso*. España: ArCiBel Editores, S. L. - Sevilla (España).
3. Caicedo, H. Y. (04 de Oct de 2009). Scribd. Recuperado el 05 de abril de 2014, de <http://es.scribd.com/doc/20584309/Medicion-del-caudal-por-el-metodo-del-flotador>
4. Contreras, J. (2015). Tesis: *Análisis Comparativo de Cuatro Modelos de Evapotranspiración de Referencia en la Microcuenca del Río Quinuas*. Cuenca.
5. Chow V. T., D. R. Maidment, L. W. Mays, *Hidrología Aplicada*, McGraw-Hill Interamericana, S.A., Bogotá, Colombia, 1994.
6. FAO. (2006). "Estudio de Riego y Drenaje – Evapotranspiración del Cultivo", Manual N° 56. Roma.
7. Hargreaves, G.H., Samani, Z.A., 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Eng. in Agric.*, 1(2): 96-99.
8. INAMHI. (2011). *Nuestra Historia. Meteorología: Pasado, Presente y Futuro en el Ecuador. Publicación Conmemorativa 1961-2011 INAMHI*.
9. INE-SEMARNAT, 2002. "Potencial de recarga de acuíferos y estabilización de ciclos hídricos en áreas forestadas". Dirección general en investigación y política ambiental.
10. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, Red de estaciones Meteorológicas, n.d. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.
11. Iñiguez Morán, V. M. (2003). *Balance Hídrico de Microcuenca de Páramo*. Cuenca. URL: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/7355>
12. León, G. S. (2005). La cuenca del río Orinoco: visión hidrográfica y balance hídrico. *Revista Geográfica Venezolana*, 75-108.



- URL.<http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/24636/2/articulo4.pdf>
13. Manas, F. d., Fuster, P., & Belmonte, A. (2005). Agua y Agronomía. Mundi-Prensa.
14. Nina Castro, Carlos “Balance Hídrico de la Cuenca del Rio Huancané”, Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional del Altiplano- Puno, 2008.
15. Pozo Castro, J., & Jiménez Ordóñez, P. H. (2002). *Balance hídrico: agua necesaria para los cultivos*. Cuenca.
- URL.<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/17406>
16. Protección de Fuentes Hídricas - Consejo de la cuenca del Machángara [WWW.Document], n.d. URL.[http://www.etapa.net.ec/DGA/dga\\_pro\\_fue\\_hid\\_con\\_cue\\_mac.aspx](http://www.etapa.net.ec/DGA/dga_pro_fue_hid_con_cue_mac.aspx) (accessed 7.17.14).
17. Ramakrishna, B. 1997. Estrategia de extension para el manejo integrado de cuencas hidrograficas: conceptos y experiencias. San José, Costa Rica.
18. Rascón, L. E. (2005). *Principios de Hidrogeografía Estudio del Ciclo Hidrológico*. México.
19. Richard G. Allen, L. S. (2006). Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma.
20. Soubannier, J. S. (1985). Riego y Drenaje. Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia San José, Costa Rica.
21. Sheng, T.C., R.E. Barret, and T.R. Mitchell. 1997. Using geographic information systems for watershed classification and rating in developing countries. J. Soil Water conserv. 52 (2): 84-89.
22. TARQUI, G. A. (s.f.). Breves datos Tarqui. Sur Oeste de Cuenca.
23. THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Centerton: Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology, 1957. (Publications in Climatology, 10)
24. UNESCO. (1979). *Balance hídrico mundial y recursos hidráulicos de la tierra. Instituto de Hidrología. Estudios e informes sobre hidrología*, 25. Centro de Estudios Hidrográficos de España.

25. Villavicencio Riera, V.E., Chávez Ochoa, L.M., 2011. Estudio arqueológico de las cuencas media y baja del río Machángara.
26. Vorhauer, C. , J. Hamlett, 1996. Gis: a tool for siting farm ponds. J. Soil Water Conserv. 51 (5):434 - 438.
27. Wikipedia. 2015. Evapotranspiración. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Evapotranspiraci%C3%B3n>

### **Páginas web visitadas:**

- Métodos de Cálculo del Balance Hídrico  
URL.[http://hydrologie.org/BIB/Publ\\_UNESCO/SR\\_017\\_S\\_1981.pdf](http://hydrologie.org/BIB/Publ_UNESCO/SR_017_S_1981.pdf)
- Evapotranspiración  
URL.<https://es.wikipedia.org/wiki/Evapotranspiraci%C3%B3n>
- Determinación del balance hídrico con fines de Riego en el distrito de Coporaque, provincia de Caylloma, región Arequipa  
URL.[http://www.concytec.gob.pe/portalsinacyt/images/stories/corcytecs/lima/determinacion\\_del\\_balance\\_hidrico\\_con\\_fines\\_de\\_riego.pdf](http://www.concytec.gob.pe/portalsinacyt/images/stories/corcytecs/lima/determinacion_del_balance_hidrico_con_fines_de_riego.pdf)
- Instituto geográfico militar del ecuador  
URL.<http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/cartografia-de-libre-acceso-escala-50k/>
- Evapotranspiración potencial por el método de Thornthwaite  
URL.<http://onlinecalc.sdsu.edu/onlineathornthwaite.php>



## ANEXOS

Las tablas y cálculos realizados se presentan anexadas en un CD por ser extenso el registro de información.

### CAPITULO 2

ANEXO 1: Registro histórico completo de la precipitación.

ANEXO 2: Registro histórico completo de temperatura (media, máxima y mínima).

ANEXO 3: Resultado de cálculos de evapotranspiración.

### CAPITULO 3

ANEXO 5: Registro histórico completo de las concesiones de agua asignadas por SENAGUA (riego, piscícolas, industria, generación eléctrica, abrevadero, consumo humano).

ANEXO 6: Tablas de datos para cálculos de balance hídrico.

### CAPITULO 4

ANEXO 6: Tabla de cálculo de balance hídrico.